

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Zoologie

Studijní zaměření: Ekologie a etologie



Bc. Anna Moravcová

Relativní početnost jako kognitivní kompetence u primátů
Relative numerosity discrimination in primates

Diplomová práce

Školitelka: PhDr. RNDr. Tereza Nekovářová, Ph.D.

Praha, 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne

Ráda bych na tomto místě poděkovala své školitelce RNDr. PhDr. Tereze Nekovářové, PhD. za její nezměrnou trpělivost a cenné rady i připomínky k mé diplomové práci. Velký dík patří za pomoc se statistickým zpracováním dat profesoru RNDr. Danielu Fryntovi, PhD a mé kolegyni Ivetě Štolhoferové.

Dále Mgr. Evě Landové, PhD. za konzultace spojené s průběhem experimentů a sepsání mé práce a také mé kolegyni Mgr. Markétě Rejlové s kterou jsem po celou dobu experimentování spolupracovala.

Abstrakt

Tato práce se věnuje problematice numerických kompetencí u primátů, konkrétně se zaměřením na relativní početnost, jednu ze složek těchto kognitivních dovedností. Relativní početnost je schopnost rozlišit větší množství od menšího nebo naopak menší množství od většího a lze ji zařadit mezi nejjednodušší dílčí numerické dovednosti.

V této práci jsem shrnula dosavadní poznatky o numerických kompetencích u primátů, které do nynějška byly zkoumány jen u několik druhů primátů, přičemž nejvíce u makaka rhesuse (*Macaca mulatta*) a šimpanze učenlivého (*Pan troglodytes*). Jednotlivé numerické kompetence testované u primátů jsem rozdělila na relativní početnost, sumaci, ordinalitu, tranzitivní inferenci, zachování kvantity, proporcionalitu, absolutní početnost a pravé počítání.

V rámci experimentální části jsem se zaměřila na výzkum relativní početnosti u druhu makak rhesus (*Macaca mulatta*). Cílem mé práce bylo zjistit, zda jsou makaci schopni řešit úlohu relativní početnosti s různými typy stimulů. Dalším cílem bylo zjistit, zda jsou schopni generalizovat informaci o relativní početnosti a zda ji dokáží aplikovat na nový typ úlohy.

Výsledky potvrzují, že makaci disponují schopností relativní početnosti a jsou schopni abstrahovat stimuly, které nabývají různého charakteru. To dokazuje, že se neučí rozeznávat konkrétní stimul, ale dokáží využít tuto numerickou dovednost na libovolný typ stimulu. Zjistila jsem také, že makaci jsou schopni pochopit zcela novou kvantitativně odlišnou úlohu, kde opice zvládly rozeznávat a vybírat množství nejen mezi dvěma, ale i třemi stimuly.

Klíčová slova: Relativní početnost, numerické kompetence, primát, makak rhesus, stimul, experiment, Weberův zákon

Abstract

This work is focused on numerical competence in primates specifically focusing on relative numerosity, one of the many aspects of these cognitive abilities. Relative numerosity is an ability to discriminate a larger quantity from a smaller amount or smaller quantity from a larger amount and could be classified as one of the easiest numerical competence.

In this work I have summarized the present knowledge of numerical competences in primates, which have been so far studied only in a few species of primates, most of them was rhesus macaque (*Macaca mulatta*) and chimpanzee (*Pan troglodytes*).

In the experimental part I focused on the research of relative numerosity in rhesus macaque (*Macaca mulatta*). The goal of my work was to find out whether macaques are able to solve the problem of relative abundance with different types of stimuli. Another goal was to find out whether they are able to generalize information about relative abundance and whether they can apply it for new design of the task.

The results confirm that macaques possess the ability of relative numerosity and are able to abstract stimuli that are differing in their character. This proves that they are not learning to recognize a particular stimuli, but are able to use this numerical skill on any type of stimuli. I also found out that macaques are able to understand a completely new quantitatively different task where monkeys have been able to discriminate and collect quantities not only between two but also between three stimuli.

Key words: Relative numerosity, numerical competence, primate, rhesus macaque, stimuli, experiment, Weber's law

Obsah

1. Úvod	1
2. Literární přehled	3
2. 1 Úvod do problematiky	3
2. 2 Numerické kompetence u primátů	9
2. 2. 1 Poloopice Prosimiae	9
2. 2. 2 Kotul veverovitý Saimiri sciureus	11
2. 2. 3 Tamarín pinčí Saguinus oedipus	12
2. 2. 4 Malpa kapucínská Cebus capucinus a malpa hnědá Cebus apella	14
2. 2. 5 Pavián anubi Papio anubi a pavián pláštík Papio hamadryas	18
2. 2. 6 Makak rhesus Macaca mulatta	21
2. 2. 7 Orangutan bornejský Pongo pygmaeus	33
2. 2. 8 Šimpanz učenlivý Pan troglodytes	35
3. Experimentální část	42
3. 1 Cíle práce	42
3. 2 Metodika	43
3. 2. 1 Subjekty	43
3. 2. 2 Aparatura	44
3. 2. 3 Procedura	45
3. 2. 4 Stimuly	45
3. 2. 5 Behaviorální proces familiarizace stimulů	48
3. 3 Statistická analýza dat	49
3. 3. 1 1. experimentální část	49
3. 3. 2 2. experimentální část	52
3. 4 1. Experimentální část – relativní početnost se dvěma stimuly	53
3. 4. 1 Fáze 1. Různá konfigurace	54
3. 4. 2 Fáze 2. Různé tvary stimulů	58
3. 4. 3 Fáze 3. Různé barvy	61
3. 4. 4 Fáze 4. Inverzní barvy teček	64
3. 4. 5 Fáze 5. Různé velikosti teček mezi stimuly	67
3. 4. 6 Fáze 6. Různé velikosti teček v rámci jednoho stimulu	71
3. 4. 7 Fáze 7. Komplexní stimuly	74
3. 5. 2. Experimentální část – relativní početnost se třemi stimuly	78
4. Diskuze	82
5. Závěr	87

6. Literární zdroje	88
7. Přílohy	92

1. Úvod

Numerické kompetence patří mezi zásadní kognitivní schopnosti, které nejen člověk, ale i mnoho jiných živočišných druhů každodenně využívá při rozhodování v životně důležitých situacích. Lze rozlišit různé stupně numerických kompetencí v rámci celé živočišné říše a byly prokázány u různých taxonů jako jsou bezobratlí (Nelson a Jackson, 2012), ryby (Tegeder a Krause, 1995), obojživelníci (Stancher et. al., 2014), ptáci (Pepperberg, 1994) a savci. Tato šíře příkladů rozšíření numerických kompetencí nastiňuje, že mají zásadní přínos pro různé druhy zvířat, zvyšuje jim šanci na přežití a numerická kompetence tak nabývá adaptivní hodnoty.

Díky schopnosti jedince operovat s množstvím může živočich ve volné přírodě využít lepší potravinové zdroje, dokáže efektivně vyhledat sexuální partnery, vyhnout se predátorovi či zjistit početnost konkurentů a tím se vyhnout případnému souboji. Například u ryb se také zjistilo, že při prezentaci nežádoucího stimulu, jako je predátor, se na základě početnosti jedinec rozhoduje, k jakému hejnu se připojí (Buckingham et. al., 2007, Tegeder a Krause, 1995).

Doposud byly navrženy dva hlavní kognitivní mechanismy, které zodpovídají za numerické kompetence u živočichů. Tyto dva hlavní systémy numerické reprezentace lze rozdělit na přibližnou reprezentaci tzv. „approximate representations of numerical magnitude“, kde jedinec rozlišuje větší množství prvků a je ovlivněn velikostí poměru mezi dvěma sadami objektů tzv. Weberovým zákonem a na precizní reprezentaci „precise representations of distinct individuals“, kde se rozlišuje absolutní počet položek při menším množství objektů nezávisle na poměru mezi dvěma hodnotami. Nej přesnější reprezentace čísla se udává do tří položek (Feigenson et. al., 2004).

Existuje několik kognitivních úloh zaměřených na numerické dovednosti, které lze testovat v rámci celé živočišné říše, a které lze rozdělit na několik úrovní obtížnosti. Za nejlehčí numerickou schopnost se pokládá relativní početnost a sumace, dále je to ordinalita a transitivita, pak zachování kvantity a rozpoznání stejných proporcí a jako nejtěžší numerickou úlohu lze označit absolutní početnost a pravé počítání.

V této práci bych ráda shrnula dosavadní poznatky o numerických kompetencích, které se vyskytují napříč celým systémem primátů s užším zaměřením na relativní početnost

u makaků. Jednotlivé dosud popsané studie věnující se numerickým kompetencím u primátů jsem rozdělila dle jednotlivých kognitivních úloh v předpokládaném pořadí od nejlehčí po nejtěžší úroveň. Dále se budu zabývat výsledky mých experimentů s primáty, kde bylo hlavním cílem studovat relativní početnost u makaků. Jako další cíl jsem si stanovila zjistit, zda jsou primáti schopni abstrahovat stimuly různých tvarů, barev, velikostí a různých konfigurací a zda dokáží generalizovat informaci o relativní početnosti na nový typ úlohy.

2. Literární přehled

2.1 Úvod do problematiky

Numerické kompetence jsou důležitým aspektem kognitivních schopní u zvířat, které mají nepostradatelnou úlohu v každodenním životě (Brannon et. al, 2006). Schopnost, jak zvíře dokáže reprezentovat určité množství, je z hlediska evoluční adaptace i šíři zastoupení v živočišné říši velmi zajímavou otázkou, která podnítila mnoho vědců studovat tyto numerické dovednosti.

Pro lepší přehlednost a ucelení terminologie, David a Pérusse, 1988 rozčlenili a popsali numerické dovednosti do několika kategorií.

1. Relativní početnost
2. Subitizace
3. Nepřesný odhad
4. Počítání

Relativní početnost „relative numerosness judgments“

Relativní početnost je posouzení rozdílné veličiny, která je typicky založená na rozlišení dvou kvantitativně odlišných množství. Je to tedy schopnost vybrat větší versus menší množství určitých prvků. Nerozlišuje se konkrétní počet položek (David a Pérusse, 1988).

Subitizace, neboli přesný odhad „subitizing“

Termín subitizing byl poprvé popsán v roce 1949 jako přesné a rychlé přiřazení číselné hodnoty ke konkrétnímu počtu objektů prezentovaných za velmi krátkou dobu (Kaufman et. al., 1949). Toto přiřazení se typicky udává maximálně do 6 položek. Je založené spíše na rychlé percepci určitého početního vzorce než na klasickém vyčíslení (David a Pérusse, 1988). Jiní autoři se shodují, že okamžité přiřazení konkrétního množství lze pouze do 3 položek (Mandler a Shebo, 1982; Gordon, 2004; Feigenson et. al., 2004).

Nepřesný odhad „estimation“

Kaufman et. al., 1949 rozlišoval subitizing a estimation pouze na základě počtu položek, kdy za pojem estimation považoval odhad početnosti položek větších než 6. Jiný

pohled na tzv. estimation je smysluplné přiřazení číselné hodnoty pro označení většího počtu položek bez samotného procesu počítání (David a Pérusse, 1988).

Počítání „counting“

Proces počítání je používán k vyjádření absolutního počtu položek v sadě. Mezi další numerické schopnosti vyžadující rozlišování početnosti, které jsou předpokladem pro pravé počítání, je ordinalita (přesné určení pořadí prvků v řadě), kardinalita (schopnost určit velikost množiny) a tranzitivita (pochopení vztahu mezi jednotlivými prvky). (David a Pérusse, 1988).

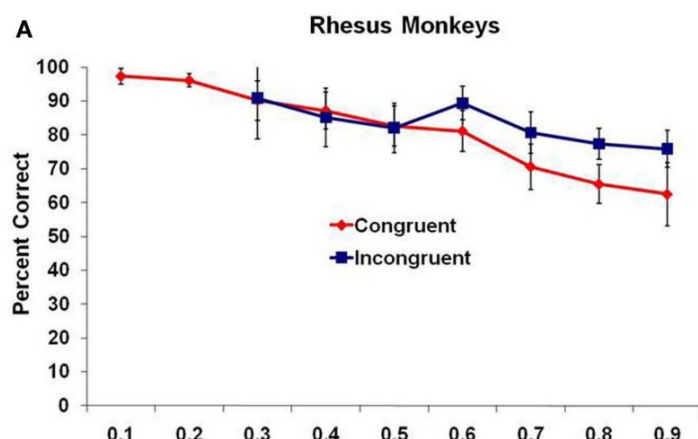
Hlavní systémy reprezentace čísel

Feigenson et. al., 2004 ve svém článku uvádějí, že numerické kompetence jsou ontogeneticky i fylogeneticky sdílené schopnosti spočívající ve dvou hlavních systémech reprezentující množství, které lze aplikovat bez použití jazyka či symbolů. Tyto schopnosti nevyvstávají prostřednictvím individuálního učení či prostřednictvím kulturního přenosu, ale mají pevný základ ve fylogenetickém vývoji. Dělí je na tzv. „approximate number system“ a „precise representations of distinct individuals“.

Přibližná reprezentace „approximate number system“

Tento kognitivní systém umožňuje přibližný odhad velkého počtu prvků (Feigenson et. al., 2004). U primátů lze tento systém představit na studii Beran et. al., 2011, kde testovali makaka rhesuse, malpu kapucínskou a člověka v rozlišování a výběru větší hodnoty mezi dvěma množstvím (1 až 12 prvků) s pomocí počítačové obrazovky a joysticku. Subjekty získaly odměnu po kliknutí na stejnou barvu, jakou měl stimul s větším počtem prvků. Všechny druhy neměly problém s určením větší hodnoty a dosahovaly vysoké úspěšnosti. Tyto výsledky poukazují na podobnost odhadu větší numerické hodnoty napříč systémem primátů.

Tento systém se opírá o tzv. Weberův zákon, který definuje, že úspěšnost volby větší či menší číselné hodnoty mezi dvěma sadami prvků závisí na poměru těchto dvou veličin. Čím menší je poměr mezi dvěma hodnotami, tím vyšší je úspěšnost volby. Tento zákon lze uplatnit v rámci celé živočišné říše (Dehaene, 1992).



Obr. č. 1 ukazuje podíl správných odpovědí makaků řídící se Weberovým zákonem, kteří měli za úkol vybrat obrazec s větším počtem prvků. S rostoucím poměrem mezi dvěma hodnotami se snižuje úspěšnost. Na ose y je procentuální úspěšnost a na ose x poměr dvou čísel od 1 po 9. Převzato z: Beran et. al., 2011.

Precizní prezentace „precise representations of distinct individuals

Druhý systém představuje schopnost určit přesné zastoupení jednotlivých objektů v malém množství udávaného do 3 položek (Feigenson et. al., 2004). Hauser a Carey, 2003 sledovali, zda se opice budou dívat déle na nemožný výsledek. Experimentátor dával postupně různý počet lílků od 1 do 3 kusů za molitanovou desku. V experimentu byly dvě podmínky. Buď zůstal počet lílků při dávání za desku i po jeho následném odkrytí stejný, nebo se počet lílků po odkrytí desky lišil. Experimentátoři následně měřili délku latence sledování stimulů. Předpokládali, že u nemožného výsledku budou opice sledovat stimul delší dobu. Zjistili, že makaci uspěli u počtu $1 + 1$ a $2 + 1$, ale u $2 + 1 + 1$ již neuspěli. Jiný příklad ukazuje, že opice jsou schopné spontánně rozlišit větší početnost u prvků v poměru 1 vs. 2 , 2 vs. 3 a 3 vs. 4 , ale v 3 vs. 8 a 4 vs. 8 již neuspějí.

To, že jsou numerické kompetence starobylý kognitivní systém, kde jsou aritmetické operace řešeny bez pomoci symbolů či jazyka, dokazují behaviorální testy nejen u zvířat, ale také u lidí. Přírodní kmeny, které nemají ustanovení pro pojmenování čísel a které neměly žádnou možnost setkat se s matematickými operacemi využívající symboly, jsou přibližná i precizní reprezentace jediné systémy, na které se mohou spolehnout pro odhad početnosti (Gorden, 2004; Pica et. al., 2004; Frank et. al., 2008).

Mnoho kultur se spoléhá na vlastní části svého těla pro demonstraci určité numerické hodnoty. Některé kmeny například používají 20 až 30 různých bodů na těle, aby označily absolutní početnost pro tyto hodnoty (Mann, 1970). Gordon, 2004 provedl dvouletou studii v Amazonii v lovecko-sběračské společnosti v kmeni Pirahã, kde mají velmi primitivní počítačový systém založený na „jeden-dva-mnoho“ systému. Hodnoty vyšší než množství 2 zde nejsou počítány, ale jsou jednoduše označeny termínem „mnoho“. Do experimentu bylo zahrnuto 7 participantů a v úloze se využívaly předměty dobře známé všem zúčastněným – klacky a oříšky. Experimentátor předložil před participanta řadu s různým počtem jednotlivých objektů od 1 do 7. Participant musel doplnit vždy stejné množství daného objektu podle předlohy. Lidé z tohoto kmene dokázali přiřadit přesné množství pouze do 3 položek. Gordon předpokládá, že primitivní numerické dovednosti jsou dvojího typu: za prvé, je zde schopnost vyčíslení absolutního počtu až do tří položek s minimálními požadavky na zpracování numerické informace. Za druhé mají lidé a jiní živočichové analogový systém odhadu přibližné početnosti s omezeným stupněm přesnosti bez zjevného počítání.

Numerické kompetence lze studovat u různých živočišných druhů a využívají se k tomu kognitivní úlohy v různých stupních obtížnosti. Tyto numerické úlohy lze rozdělit dle náročnosti na sumaci a relativní početnost, které se pokládají za nejjednodušší, dále je to ordinalita a transitivity, za více náročné lze označit zachování kvantity a rozpoznání stejných proporcí neboli proporcionalita a jako kognitivně nejnáročnější numerické úlohy lze považovat absolutní početnost a pravé počítání. Ráda bych shrnula dosavadní poznatky o numerických kompetencích studovaných u našich nejbližších příbuzných – primátů, kteří se stali oblíbeným modelem studování této dílčí kognitivní funkce. Zde je rozdělení a popis jednotlivých numerických kompetencí.

1. **Sumace:** patří mezi jednoduché numerické úkony, které představují sčítání a odčítání jednotlivých prvků či čísel (Hauser et. al., 1996).
2. **Relativní početnost:** je schopnost rozeznat větší počet od menšího nebo naopak menší počet od většího. V této úloze není vyžadována schopnost rozeznat absolutní hodnotu (David a Perusse, 1988).

3. **Ordinalita:** tato početní schopnost má pevný řád, kdy jednotlivé prvky musejí být použity ve stejném pořadí (např. 1, 2, 3, 4 a ne 3, 2, 1, 4). Prvek 3 tedy znamená větší početnost než množství 2 a menší než 4 (Gallistel a Gelman, 1978).
4. **Transitivní inference:** Je na rozdíl od ordinality pochopení vztahu mezi jednotlivými prvky. Příkladem tohoto numerického uvažování může být ilustrováno na jednoduchém příkladu. Prvek A má větší hodnotu než prvek B a prvek B má větší hodnotu než prvek C. Jaký z prvků A a C je větší? Tyto dva prvky spolu nebyly nikdy přímo porovnávány, a proto lze řešení této otázky vyvodit pouze logickou dedukcí. Transitivita je tedy považována za abstraktní myšlení o vztazích mezi jednotlivými událostmi (David a Perusse, 1988).
5. **Zachování kvantity:** odpovídá ideje, že fyzické množství určitého prvku se nezmění jen kvůli jeho změně v uspořádání či při změně tvaru (Beran, 2008). Je to úloha, u které subjekt rozeznává a přiřazuje řady odlišující se svým rozestupem jednotlivých objektů (Sophian, 1995). Jedinci také mohou porovnávat výšku vodního sloupce v rozdílných či stejných nádobách (Call a Rochat, 1996). Testuje se, zda je subjekt schopen rozpoznat transformaci irelevantního charakteru kvantity (například nalití stejného množství tekutiny do nádoby s jiným rozměrem a tím i změnou tvaru samotné tekutiny) (Woodruff, et. al., 1978).
6. **Proporcionalita:** je velmi obtížnou úlohou, při které je subjekt vyzván k rozpoznání a následnému přiřazení objektů, které jsou stejně velké, ale rozdělené na několik různě velkých částí. Lze ji definovat jako schopnost pochopení stejných proporcí (Woodruff a Premack, 1981).
7. **Absolutní početnosti:** v této úloze subjekt vybírá vždy konkrétní počet prvků (Hicks, 1956).
8. **Počítání:** Většina autorů definuje „pravé počítání“ jako formální enumerativní proces, který odpovídá principům navrženým Gallistelem a Gelmanem z roku 1978. Zde použili termín „proto-counting“ což má být flexibilnější systém, lišící se od systému schopnosti provádět matematické operace u lidí. Počítání lze prezentovat jako reprezentaci a vyčíslení absolutního počtu objektů v sadě. U počítání by se měly

zachovat některé zákonitosti. Subjekt musí umět přiřazovat konkrétní množství k určitému počtu objektů, tyto objekty pak musí umět seřadit od nejmenší po největší (číslici, objekt) či obráceně, čemuž říkáme schopnost ordinality. Subjekt také musí znát finální hodnotu, což je poslední prvek v číselné řadě a ten dokázat pojmenovat – umění kardinality (Gallistel a Gelman, 1978).

V další kapitole bych ráda shrnula dosavadní poznatky, které se týkají numerických kompetencí u primátů. Do této doby bylo zpracováno několik prací týkající se této problematiky, avšak pouze s několika málo druhy. U poloopic (Prosimiae) a kotula veverovitého (Saimiri sciures) byla zatím zjištěna sumace. Tamarína pinčího (Saguinus oedipus) byl testovaný na sumaci a relativní početnost. U malpy kapucínské (Cebus capucinus) a malpy hnědé (Cebus appela) experimentátoři zjistili jejich schopnost v sumaci, relativní početnosti, ordinalitě a zachování kvantity. Pavián anubi (Papio anubi) a pavián plášťkový (Papio hamadryas) byl zatím prověřena pouze ve schopnost relativní početnosti. Makak rhesus (Macaca mulatta) byl testovaný ve všech numerických dílčích úlohách kromě pravého počítání. U orangutana bornejského (Pongo pygmaeus) byla zatím prokázána relativní početnost a zachování kvantity. Nakonec u šimpanze učenlivého (Pan troglodytes) se potvrdila schopnost veškerých numerických dovedností od relativní početnosti po pravé počítání.

2. 2 Numerické kompetence u primátů

2. 2. 1 Poloopice Prosimiae

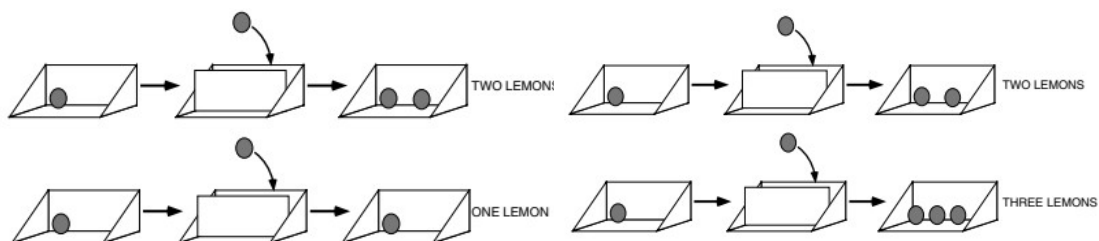
Poloopice se oddělily od ostatních primátů přibližně před 47 až 54 miliony let. Jsou našimi nejvzdálenějšími příbuznými, a proto je velmi zajímavé zkoumat numerické kompetence právě u této skupiny. Doposud bylo sepsáno pouze pár prací týkajících se schopnosti některých druhů lemurů velmi jednoduchých úloh sumace, bez jakéhokoliv předchozího tréninku.

Sumace

V roce 2005 Lewis et. al., testovali sumaci u lemurů. Subjekty této studie bylo 9 dospělých lemurů mongoz *Eulemur mongoz*, kteří sledovali experimentátory, jak pokládají jednotlivé hrozny do dvou nádob v různém poměru. Hrozny buď zůstaly všechny na dně nádoby, nebo některé z nich ukryli do falešného dna, takže výsledný obsah nebyl identický. Následně mohli lemuři přistoupit k nádobě a zkonzumovat obsah. Jestliže lemuři disponují numerickými dovednostmi, měli by strávit více času hledáním schovaných hroznů, jakožto výsledek nereálné situace. V každé sérii byly zařazeny dvě podmínky: 1 – 1 vs. 2 – 1, 2 – 2 vs. 4 – 2, 4 – 4 vs. 8 – 4, 2 – 2 vs. 3 – 2 a 3 – 3 vs. 4 – 3, kde první číslo představuje počet hroznů, které byly položeny do nádoby a druhé číslo prezentuje počet hroznů, které subjekt v nádobě našel. Subjektům naměřili signifikantně vyšší čas při hledání schovaných hroznů u poměru 1:2 (2 hrozny položené na dno z toho jeden byl 1 schovaný), ale u poměru 2:3 a 3:4 neprojevili potřebu vyhledat schované hrozny. Tyto data naznačují, že i vývojově nejstarší větev primátů, jako jsou poloopice, je schopna mentálně reprezentovat množství, i když jen v poměru 1:2. Delší trénink by však mohl zlepšit výkonnost v úloze jako je tomu u jiných druhů primátů (Lewis et. al., 2005).

Podobnou studii, kde nebyl vyžadován předešlý trénink primátů a testoval poloopice v sumaci uvedli Santos et. al., 2005. Subjekty byly 4 různé druhy lemurů: lemur kata *Lemur catta* (6 jedinců), lemur bělohavý *Eulemur fulvus* (6), lemur mongoz *Eulemur mongoz* (5), Vari červený *Varecia rubra* (4). Před subjekt byla předložena dřevěná aparatura (jeviště), kam experimentátor položil jeden citrón, který následně zakryl dřevěnou deskou tak, aby stimul nebyl vidět. Dále k němu přidal další citrón, a to buď vedle stávajícího citrónu, takže po odkrytí desky zůstali na desce citróny 2 nebo byl schován za klamnou desku tak, aby po

odkrytí nebyl vidět. Experimentátoři sledovali, zda se budou opice déle dívat na nereálné množství citrónů. V této sérii všichni jedinci sledovali déle jeviště, kde byl jeden citron nebo tři citróny.



Obr. č. 2. Experimentátoři prezentovali v prvním kroku vždy jeden citrón. Poté ho zakryly deskou a následně přidali citrón další. Po odkrytí desky zde zůstal buď správný počet prvků – 2 citróny nebo nesprávný počet citrónů – 1 či 3. Převzato z: Santos et. al., 2005

2. 2. 2 Kotul veverovitý *Saimiri sciureus*

Kotul veverovitý (*Saimiri sciures*) je malá novosvětská opice z čeledi malpovitých obývajících jižní Ameriku. Doposud byla sepsána pouze jedna práce zabývající se schopností kotula sčítat prvky a schopnost ordinality tedy řazení prvků tak, jak jdou za sebou.

Sumace

Olthof et. al., 1997 testovali 2 jedince druhu kotul veverovitý (*Saimiri sciureus*) v sumaci a zároveň v ordinality, kde zjistili, že kotulové jsou schopni pochopit ordinální vztah mezi nejméně 6 číslicemi a jsou schopni vybrat větší hodnotu číslice. Opice tohoto druhu také dokáže diskriminovat mezi různými sadami číselných symbolů a preferují tu, která po sumarizaci nabývá větší hodnoty. Opice si vybíraly mezi dvěma dřevěnými kostkami, kde na každé z nich byla namalovaná arabská číslice: 0, 1, 3, 5, 7 nebo 9. Po výběru kostky s číslicí dostaly odpovídající počet ořechů: tedy při výběru kostky s číslicí 5, obdržely 5 ořechů. Opice začínaly pouze s 2 číslicemi a po splnění hranice úspěšnosti se přidávaly další číslice. Dále si opice vybíraly mezi dvěma sadami vždy se 2 číslicemi. V poslední sérii dostaly opice 4 kombinace číslic najednou, kde si vybíraly 3 kostky s číslicemi. Subjekty si uměly správně spočítat výsledný počet odměn a vybíraly kostky s nejvyššími hodnotami.

2. 2. 3 Tamarín pinčí *Saguinus oedipus*

U tamarína pinčího (*Saguinus oedipus*) se prokázali dvě numerické dovednosti, a to relativní početnost a sumace, které zařazujeme mezi nejlehčí dílčí kognitivní numerické schopnosti.

Sumace

Uller a Hauser, 2001 využili metodiku měření délky latence sledování nemožného výsledku. Zjistili, že tamaríni dokáží spontánně reprezentovat určité množství v experimentu, kde se pokládal nejdříve jeden a následovně druhý objekt (potrava) za stěnu, tedy situace $1 + 1 = 2$. Po odhalení stěny následovaly tři možné scénáře: buď zde zůstal stejný počet objektů, tedy 2, nebo následovala pro subjekty nereálná situace a po odhalení stěny zde zůstal buď jeden objekt ($1 + 1 = 1$) nebo tři objekty ($1 + 1 = 3$). Subjekty se dávaly signifikantně delší dobu na nereálnou situaci a tím prokázaly, že vnímají numerickou informaci bez jakéhokoliv předešlého tréninku.

Relativní početnost

Hauser et. al., 2002 nevyužili ve svém výzkumu vizuální typ stimulu, ale chtěli zjistit, zda mají primáti kapacitu na zpracování a generalizaci numerické informace v podobě zvuku. Skupina 13 dospělých tamarínů byla habituována na přehrávání zvuku. Polovina z nich na 2 tóny a druhá polovina na 3 tóny. V testovací fázi jim experimentátoři pouštěli tyto tóny, avšak v jiném počtu a následně sledovali reakce primátů. Veškeré subjekty reagovaly specifickěji, jestliže se počet tónů v testovací části změnil. Za specifické chování primáta se považovalo ohlédnutí k reproduktoru po přehrání stimulu s jinou početností jakožto výsledek pro primáty doposud neznámého zvuku. Tento experiment dokazuje, že minimálně jeden druh netrénovaného primáta dokáže spontánně reagovat na změnu auditorního typu stimulu.

V navazující studii dokázali, že netrénovaní tamaríni dokáží diskriminovat auditorní stimul v početnosti 4 vs. 8, 4 vs. 6 a 8 vs. 12 tónů. Naopak v sekvenci 4 vs. 5 a 8 vs. 10 tónů neuspěli. Tamaríni dokáží rozlišit početnost nejméně 12 tónů a jejich úspěšnost závisí na poměru dvou hodnot (Hauser et. al., 2003).

Tímto experimentem autoři dokazují, že schopnost numerických kompetencí nemusí striktně záviset na vizuálním typu stimulu a potvrdili tezi, že tento kognitivní proces lze generalizovat i na jiný druh modality jako je zvuk. Schopnost abstrahovat zvuk jako stimul byl popsán ještě v jedné práci u makaka rhesuse (experiment jsem popsala níže v textu).

2. 2. 4 Malpa kapucínská *Cebus capucinus* a malpa hnědá *Cebus apella*

Malpy jsou malé novosvětské opice, žijící ve střední a jižní Americe. Byla u nich zjištěna schopnost relativní početnosti, sumace, ordinality a dokáží pochopit i těžší úlohu jako je zachování kvantity. V úloze na schopnost ordinality, kde byly porovnávány malpa hnědá s makakem rhesusem, měly malpy signifikantně horší úspěšnost než makaci, ale stále plnily úlohu nad hranicí náhodnosti.

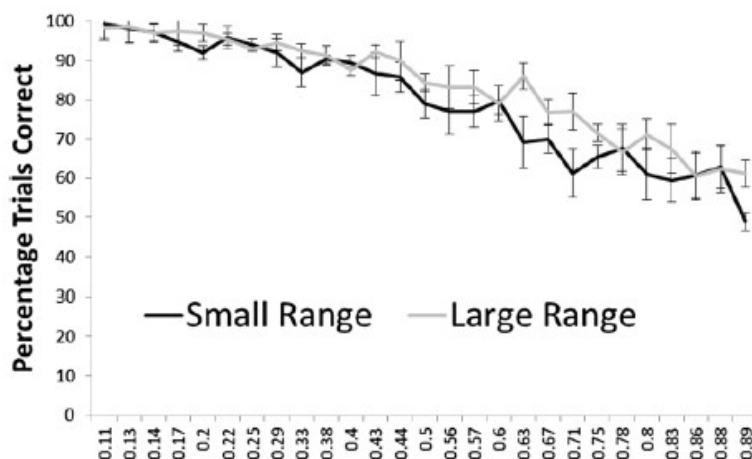
Sumace

Před subjekt se položil táč s dvěma miskami, kam experimentátor dával jednotlivé rozinky. Subjekt si pak vybral jednu z misek a mohl zkonzumovat obsah. V prvním pilotním experimentu si opice vybírala mezi dvěma nezakrytými miskami, na kterých bylo 1 až 6 rozinek. Průměrná úspěšnost této série byla 85,5 %. V druhé sérii se po prohlédnutí misek s různým počtem kusů rozinek (1-5) nádoby zakryly a na jednu z nich se položila 1, 2, 3 či více rozinek tak, aby byl pro subjekty viditelný. Aby si malpy vybraly misku s větším počtem rozinek, musely si umět správně sečíst obsah v zakryté misce a obsah potravy položené na misku. V této sérii byly 3 podmínky 1) schovaný obsah rozinek byl v počtu identický a set s větším množstvím rozinek byl vždy ten, kde byly rozinky položeny na nádobu 2) viditelná sada stimulů byla zahrnuta v setu s celkově větším množstvím rozinek 3) viditelná sada stimulů byla zahrnuta v setu s celkově menším množstvím rozinek. Celková úspěšnost v první podmínce byla 72,2 %, v druhé 77,6 % a ve třetí 70,1 %. Tyto data prokazují, že malpy jsou schopné posoudit kvantitu stimulu a vlastní schopnost sumace (Beran et. al., 2016).

Relativní početnost

Beran a Parrish, (2016) chtěli zjistit, zda bude rozdíl mezi úspěšností v úloze s menším počtem nebo naopak větším celkovým počtem stimulů. Úloha spočívala ve výběru mezi dvěma hodnotami. Odměněna následovala pouze u výběru většího množství. V úloze se střídaly dvě podmínky: 1. malý rozsah početnosti, kde primáti od se odlišovali a vybírali stimul v rozsahu od 1 do 9 teček a 2. velký rozsah početnosti, kde byla početnost stimulů 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 a 90 teček ve všech možných kombinacích poměrů. V obou případech byl poměr pro oba rozsahy stejný a pohyboval se od 0,11 (1 vs. 9 nebo 10 vs. 90)

do 0,89 (8 vs. 9 nebo 80 vs. 90). Opice byly signifikantně úspěšnější v úloze, kde dávali subjektům na výběr sady s vyššími hodnotami teček. Tento výsledek je kontroverzní s výsledky jiných studií například ve studii Choo a Franconeri, 2014, kde byly děti úspěšnější ve výběru menších hodnot.



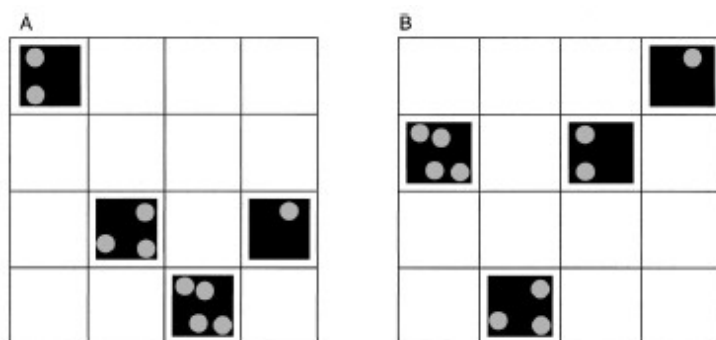
Obr. č. 3. Procentuální úspěšnost malp v úloze na relativní početnost. Tmavá linka značí procentuální úspěšnost v malém rozsahu početnosti stimulů od 1 do 9 teček v jednotlivých poměrech. Světlá linka značí velký rozsah početnosti stimulů od 10 do 90 teček. Převzato z: Beran a Parrish, 2016.

Experimentátoři předkládali šesti malpám kapucínským táč se dvěma kalíšky, do kterých postupně dávali jednotlivé rozinky. Opice si pak vybraly jeden z kalíšků a zkonsumovaly jeho obsah. Jelikož opice nebyly nikdy před tím trénované na tento typ úlohy, před samotným testováním předcházela učební fáze, kdy si vybíraly mezi jednou nebo žádnou rozinkou v kalíšku. Po dosažení pavián 80 % úspěšnosti byly testované na další početnost a to: 1 vs. 4, 2 vs. 3 a 3 vs. 4. Jelikož design úlohy umožňoval odměňovat primáta i za výběr menší hodnoty (mohli zkonsumovat obsah z jakéhokoliv vybraného kalíšku), experimentátoři se rozhodli prokládat tento experiment za úlohu 1 vs 0 rozinek, aby se primáti naučili vybírat vždy větší počet. Procentuální úspěšnost tohoto experimentu dosahovala 85 % u 1 vs. 4, 65 % u 2 vs. 3 a 57 % u 3 vs. 4. Úspěšnost testování záviselo na poměru mezi jednotlivými prvky, které podléhalo Weberovému zákonu (VanMarle et. al., 2006).

Ordinalita

Beran et al., 2008 zjistil, že malpa hnědá i makak rhesus se dokáží naučit ordinální vztah mezi číslicemi v početnosti od 1 do 9. V první sérii byly oba druhy trénovány k výběru větší číslice jednotlivých dvojic od 1 po 9. Některé z opic dostaly odměnu ve formě potravy shodnou s hodnotou vybrané číslice a některé získaly pouze 1 ovocnou granulu za správně zvolené větší množství. Makakové byli v této úloze signifikantně úspěšnější než malpy, ale malpy tuto úlohu také zvládly signifikantně nad hranicí náhodné volby. V úspěšnosti mezi odměněnými subjekty jednou či více granulemi nebyl žádný rozdíl. V druhé části opice vybíraly řadu 5 známých číslic (1 – 9), ve které opět oba druhy uspěly.

Tři malpy hnědé *Cebus apella* byly vytrénované k postupnému výběru stimulů s odlišným počtem teček (od 1 po 4 tečky) v ascendentním pořadí, které se opicím promítaly na touchscreeenu. Po překročení úspěšnosti (tři série s úspěšností 75 % po sobě jdoucí) dostaly opice zcela nové typy stimulů – různé tvary, velikosti, clip artové obrázky. Další experiment spočíval v prezentaci stimulů v zcela nové početnosti prvků a to od 5 do 9 teček. Všechny tři subjekty odpovídaly nad hranicí úspěšnosti, tedy měly úspěšnosti vyšší než 50 % (Judge et. al., 2005)



Obr. č. 4. Dva různé příklady prezentace stimulů. Opice měla za úkol seřadit stimuly podle početnosti v ascendentním pořadí, tedy vybírat obrazce s 1, 2, 3 a 4 tečkami. Převzato z: Judge et. al., 2005.

Zachování kvantity

Beran, 2008 testoval 6 subjektů druhu malpy kapucínské *cebus apella* v zachování kvantity, kde každá série započala zobrazením dvou horizontálních řad černých čtverců na obrazovce v různé početnosti s červeným kolečkem umístěným mezi dvěma řadami, který opice využívala jako kurzor k označení odpovědi horní nebo dolní řady stimulů. Odměněna

byla vždy ta řada, kde se nacházel větší počet čtverců. Početnost čtverců v jednotlivých řadách byla následovná: 1 vs. 5, 3 vs. 7, 5 vs. 9, 3 vs. 5 a 5 vs. 7. V průběhu experimentu se jednotlivé řady daly manipulovat dvojím způsobem. V prvním případě se neměnila početnost objektů, ale její konfigurace a manipulovalo se s pohybováním objektů od sebe či k sobě, takže se řada horizontálním pohybem buď prodlužovala či zkracovala. V druhém případě se do řady přidávaly další čtverce, takže početnost se lišila od původní verze. Experiment prokázal, že malpy byly schopné vybrat řadu s větším počtem čtverců bez ohledu na jakoukoliv manipulaci v úloze.

2. 2. 5 Pavián anubi *Papio anubi* a pavián plástíkový *Papio hamadryas*

Dosavadní znalost o numerických kompetencí u paviánů, opic z čeledi kočkodanovitých obývajících africký kontinent, je zaměřena pouze na relativní početnost u dvou druhů paviánů. Pavián anubi zvládl odhadnout početnost do 8 prvků na rozdíl od paviána plástíkového, který nebyl schopný odlišit početnost 7 vs. 8 u konkrétních stimulů a nebyl schopný vyřešit úlohu v relativní početnosti u abstraktních stimulů v početnosti 3 vs. 4.

Relativní početnost

Barnard et. al., 2013 testovali 8 jedinců paviána anubiho v relativní početnosti. Naivním opicím dávali na výběr mezi dvěma sety s různým počtem oříšků. Experimentátor, který seděl naproti subjektu, vzal určité množství oříšků do každé z dlaní a toto množství vždy před vysypáním do neprůhledné nádoby ukázal subjektu. V tomto experimentu se pokoušeli zjistit, zda se bude lišit úspěšnost voleb u prvků menšího množství (v rozsahu 1 až 4 prvky) a u prvků většího množství (prvky v rozsahu 5 až 8) či mezi volbou menšího a většího množství (první stimul v rozsahu 1 až 4 prvky, druhý stimul v rozsahu 5 až 8 prvků). Dále je zajímavé, zda bude rozdíl v úspěšnosti v situaci, kdy se jednotlivé oříšky budou dávat do nádoby všechny najednou nebo postupně jeden po druhém. Bylo testováno 27 různých číselných poměrů od 1 po 8 prvků (kromě 1 vs. 2, jelikož tento poměr sloužil jako trénovací fáze). 7 z 8 subjektů dokončilo všech 57 sérií prvního testování. Subjekty byly signifikantně úspěšné u voleb mezi menším počtem prvků < 4 a u voleb mezi menší a větší hodnotou stimulů, ale nedokázaly již rozpoznat některé poměry u stimulů přesahující 5 prvků. Dávání ořechů do nádoby najednou či postupně nemělo na celkovou úspěšnost žádný vliv. Druhého experimentu se zúčastnily pouze dva subjekty. Opět byly testovány na výběr většího množství ořechů a splnily celkem 11 sérií u kterých byly stimuly exponovány delší dobu. U tohoto testování opice uspěly u všech poměrů. Tento experiment značí, že paviáni bez jakékoliv předešlé zkušenosti s diskriminací dvou poměrů mají kapacitu při řešení úlohy, kde odlišují dvě rozdílné kvantify, které podléhají Weberovému zákonu.

Schmitt a Fischer, 2011 testovali 16 jedinců druhu pavián anubi *Papio anubi* a makak jávský *Macaca fascicularis*. Opicím bylo předkládáno různé množství jedlých objektů – rozinek nebo ořechů či nejedlých objektů – kamenů v rozmezí od 1 po 8 prvků. Testování mělo 3 různé série. V první sérii byly jedlé objekty využívány jako stimuly a zároveň jako

odměna, takže výběr jedné ze dvou možných množství mohly opice zkonsumovat. Celková úspěšnost byla 69 %. V druhé sérii byly předkládány kameny, za které při výběru jedné ze dvou množství dostal primát odpovídající počet odměny. Subjekty byly za této podmínky mnohem úspěšnější - 84 %. Ve třetí sérii byly subjekty odměňovány jinou potravou schovanou pod testovací deskou. Tato podmínka umožnila primátům dosáhnout také poměrně vysokému úspěchu a to 86 %. Výsledky této studie poukazují na důležitost charakteristiky typu stimulu. Malá úspěšnost s potravními stimuly nemohla být způsobena neschopností opic rozlišovat určité poměry, jelikož s nejedlými objekty dosahovaly poměrně vysoké úspěšnosti. Autoři se domnívají, že důvodem selhání experimentu s jedlými stimuly je, že primáti nejsou schopni zpracovat obě reprezentace jednoho prvku, který je ve stejné úloze prezentován jako stimul a zároveň jako odměna.

Neschopnost vybrat větší množství potravních stimulů by také mohlo souviset s motivací primátů, což se potvrdilo i v našich experimentech. Primát je v tomto případě odměněn za jakýkoliv výběr, a proto může ztrácet motivaci vybírat větší početnost u stimulů, kde je více jak 5 položek potravy. V opačném případě, kdy primát dostává pouze jednu odměnu za výběr jakéhokoliv množství, mu na daném výběru může záležet mnohem více, jelikož zde platí, že za nesprávný výběr ztrácí primát příležitost odměnu získat úplně.

Ve studii z roku 1940 testoval Douglas a Whitty nedospělého samce paviána pláštěkového *Papio hamadryas*, který neměl žádné zkušenosti s předchozím testováním. Pavián byl trénován ke schopnosti odlišit poměry 1:2, 3:4, 5:6 a 7:8. Stimuly byly prezentovány jako černé tečky stejné velikosti, namalované na bílých kartách ale lišící v konfiguraci. Subjekt nebyl schopen rozlišit poměr 7:8. V další sérii předkládali subjektu karty se 3 nebo 4 černými abstraktními plochami, lišících se v konfiguraci, tvaru a velikosti. Výběr karty se 4 objekty byl vždy odměněn. Tuto úlohu pavián nebyl schopen splnit a po 1000 opakováních tuto úlohu ukončili. Z tohoto experimentu autoři vyvodili, že pavián nebyl schopen abstrahovat abstraktní stimuly v poměru 3:4. V poslední sérii předkládali experimentátoři paviánovi karty se 3 či 4 černými tečkami uspořádanými do identických diagonálních řad, kde byl primát úspěšný. Po 200 sériích stimuly změnili na trojúhelníky a čtverce, u kterých opět poklesla úspěšnost a primát volil stimuly náhodně (Douglas a Whitty, 1940).

V tomto experimentu byl použit pouze jeden subjekt, a proto nemusí být výsledky u tohoto jedince definitivně platné v rámci celého druhu. Paviáni jsou stejně jako makaci

vysoce vnitrodruhově agresivní a mají mezi sebou přísnou hierarchii. Jedno z možných vysvětlení je, že někteří vysoce postavení jedinci nemusí plnit úlohy dle vnitřní motivace získat odměnu a může to mít vliv na výslednou úspěšnost, což odpovídá našim experimentům.

2. 2. 6 Makak rhesus *Macaca mulatta*

Makak rhesus *Macaca mulatta* je velmi často využívaným druhem primáta ve výzkumu numerických kompetencí, u kterého se testovalo a popsalo několik těchto dílčích kognitivních schopností. Experimentátoři prokázali schopnost sumace, relativní početnosti, ordinality, transitivní inference, zachování kvantity i absolutní početnosti u toho konkrétního druhu. Makaci dosahují v úlohách vysoké úspěšnosti porovnatelné s úspěšností dětí v těchto konkrétních experimentech. Dosud nebyla prokázána schopnosti makaků uspět v úlohách proporcionality, která se testovala pouze jednou, a to u šimpanze, a také nebyli testováni na pravé počítání.

Relativní početnost

Relativní početnost se dvakrát testovala u volně žijících makaků *Macaca mulatta* situovaných na ostrově Cayo Santiago v Puerto Ricu. Experimentátoři chtěli zjistit, zda jsou opice schopné spontánně reprezentovat množství bez jakéhokoliv předchozího tréninku. Každá opice byla testovaná pouze jednou, aby experimentátoři předešli případnému učení úlohy. Stimuly představovaly kousky ovoce nebo kameny, které byly prezentovány v jednotlivých poměrech. U výběru ovoce vs. kameny si opice vybíraly sety, kde bylo větší množství ovoce. Naprostá většina opic byla úspěšných v poměrech 1 vs. 2, 3 vs. 2, 4 vs. 3 a 5 vs. 3. Neuspěly naopak u poměru 8 vs. 4. Tato studiu ukazuje, že opice jsou schopny spontánně vybírat větší množství do 4 položek. Vyšší početnost objektů činí jejich rozhodnutí nepředvídatelnou (Sulowski a Hauser, 2001).

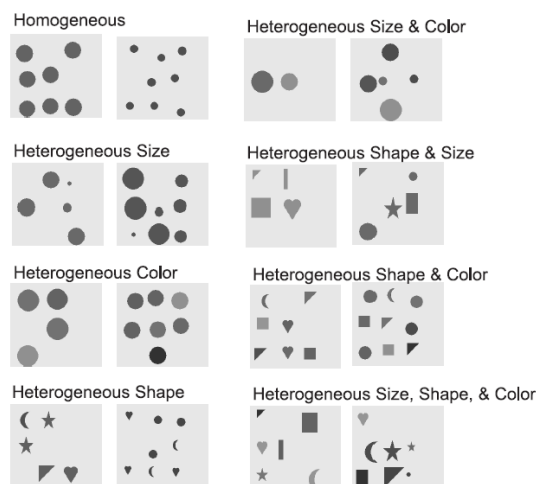
Po několika letech se testovala stejná populace primátů. Experimentátoři předložili před opice vždy dvě nádoby, do kterých dávali postupně jednotlivé kousky mrkve. Z experimentu byly vyřazeny všechny opice, které se nedívaly na stimuly po celou dobu prezentace, nebo byly nějak vyrušené ostatními členy tlupy. V první sérii testovali experimentátoři poměr 1 plnou nádobu vs. 2 plné nádoby, ve kterém všechny opice uspěly a vybraly si 2 stejně velké plné nádoby. V dalších sériích opice uspěly u poměrů 2 vs. 3 a 3 vs. 4 ale 4 vs. 5 či 3 vs. 6 už nebyly schopny rozpoznat. V další fázi dali makakům na výběr mezi jedním plným a dvěma poloprázdnými nádobami. Šestnáct z dvaceti opic se zaměřily na početnost nádob a vybraly si dvě poloprázdné, ač byly v obou nádobách stejná množství. V další fázi prezentovali makakům 2 nádoby s mrkví vs. 1 nádobu s mrkví dohromady s 1 nádobou plnou písku. 15 z 20 opic si vybralo obě nádoby s mrkví (Wood et. al., 2008).



Obr. č. 5. Ukázka metodiky pokusu u poměru 2 vs. 1 kousky mrkve. 1. Prezentace nádob subjektům. 2. – 5. Experimentátor dává 2 mrkve do levé nádoby. 6. – 7. Poté dává jeden kousek mrkve do pravé nádoby. 8. Odchází pryč, aby si opice vybrala jednu z nádob. Převzato z: Wood et. al., 2008

V roce 2008, Beran et. al., testoval makaky *Macacca mulatta*, malpu *Cebus apella* a člověka v relativní početnost. Subjekty měly za úkol vybrat větší množství stimulů ze dvou sad, které se promítaly na obrazovce. V prvním experimentu byly 2 sady stimulů od 1 po 10 teček. Experiment byl ztížen tím, že každá tečka se lišila velikostí a pohybovala se po obrazovce různým směrem a různou rychlostí. Po 500ms se obraz zastavil a opice mohla manipulovat s kurzorem, pomocí kterého vybrala sadu s větším množstvím stimulů. Za správný výběr dostala opice odměnu. V druhém experimentu se polovina stimulů pohybovala a druhá zůstala stacionární. V další fázi se stimuly pohybovaly po celou dobu experimentu, dokud opice nevybraly jedno množství. Ve druhém a třetím experimentu se zapojili také malpy a lidé. Opicím nedělaly žádný problém pohybující se stimuly a vybíraly vyšší početnost jak u stacionárních, tak u pohybujících se stimulů. Člověk a makaci byli signifikantně úspěšnější než malpy (Beran et. al., 2008).

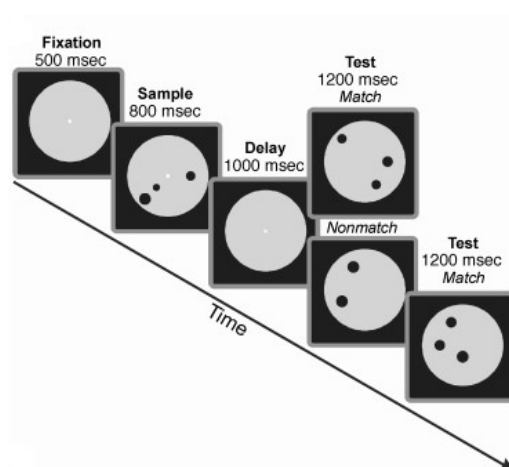
Dvě samice makaka jménem Feinstein a Mikulsky byly testované na relativní početnost. Na obrazovce se jim promítaly dvě sady stimulů a opice měly za úkol vybrat sadu, kde bylo menší množství stimulů. Stimuly se v experimentu rozdělily na homogenní, které byly v každé sadě ve stejném tvaru, velikosti i barvy a heterogenní, které se naopak v těchto charakteristikách lišily. Jednotlivé elementy ve stimulu mohly mít 15 různých barev, 5 odlišných velikostí a 6 různých tvarů (kolečka, hvězdy, měsíce, čtverce, trojúhelníky a srdce). Obě opice měly celkovou úspěšnost vysokou a v průměru dosahovala 79 % (Feinstein 82 % a Mikulsky 76 %) u všech možných kombinací jednotlivých sad. Heterogenita stimulů v jednotlivých sériích neměla žádný vliv na úspěšnost makaků (Cantlon a Brannon, 2006).



Obr. č. 6. Ukázka heterogenity stimulů odlišujících se ve velikosti, tvaru a barevnosti. Převzato z: Cantlon a Brannon, 2006.

Nieder a Miller (2004) testovali u dvou dospělých samců makaka rhesuse relativní početnost metodou delayed match to sample na monitoru, kde vybírali stejnou početnost, kterou viděli na předloze ze dvou různých sad. U řešení úlohy subjektům měřili reakční dobu tzv. „Rts“ odpovědi a také sledovali jednotlivé pohyby očí. Opice sledovaly sekvenci dvou sad stimulů oddělené krátkou časovou prodlevou. Poté hodnotily, zda bylo na sekvenci stejné množství menšího počtu položek od 1 do 7 prvků. Stimuly v průběhu jednotlivých sériích měnily svůj charakter a lišily se ve velikosti, tvaru, uspořádání na ploše a jejich hustotě. Výsledky této studie ukazují, že úspěšnost správné volby závisí na početnosti teček bez ohledu na typ stimulu a řídí se Weberovým zákonem. Reakční čas puštění páčky „match“ se u obou opic signifikantně lišil v závislosti na početnosti stimulu. Rts se signifikantně zvýšil od 1 do 3 položek. Od početnosti 4 se zvýšil čas latence o 85 ms pro opici T a 49 ms s každou další položkou. U početnosti 4 byla nejdelší reakční doba. U měření doby sledování obrazovky při ukázce stimulů experimentátoři zjistili, že i když měly opice 1200 msec. na prohlédnutí sady, udělaly pouze jeden nebo dva oční pohyby tzv. sakády nezávisle na početnosti položek v sadě. Sakády zůstaly vůči jednotlivým položkám konstantní napříč celým spektrem daných numerických hodnot, což naznačuje, že jednotlivé položky neprohlížely sériově. Rozsah počtu položek, který by měl umožnit provést spolehlivý závěr (z hlediska Rts a pohybu očí), je omezen v rozsahu od 1 do 4 položek. Stimuly v průběhu jednotlivých sériích měnily svůj charakter a lišily se ve velikosti, tvaru, uspořádání na ploše a jejich hustotě. Výsledky této studie ukazují, že úspěšnost správné volby závisí na početnosti teček bez ohledu na typ stimulu a řídí se Weberovým zákonem. Reakční čas

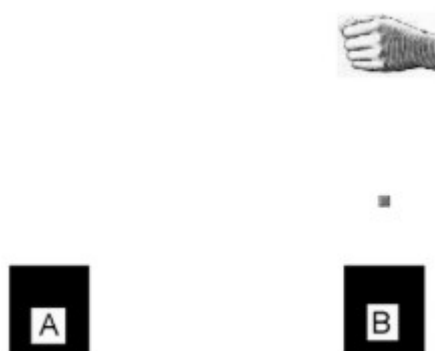
puštění páčky „match“ se u obou opic signifikantně lišil v závislosti na početnosti stimulu. Rts se signifikantně zvýšil od 1 do 3 položek. Od početnosti 4 se zvýšil čas latence o 85 ms pro opici T a 49 ms s každou další položkou. U početnosti 4 byla nejdelší reakční doba. U měření doby sledování obrazovky při ukázce stimulů experimentátoři zjistili, že i když měly opice 1200 msec. na prohlédnutí sady, udělaly pouze jeden nebo dva oční pohyby tzv. sakády nezávisle na početnosti položek v sadě. Sakády zůstaly vůči jednotlivým položkám konstantní napříč celým spektrem daných numerických hodnot, což naznačuje, že jednotlivé položky neprohlížely sériově. Rozsah počtu položek, který by měl umožnit provést spolehlivý závěr (z hlediska Rts a pohybu očí), je omezen v rozsahu od 1 do 4 položek.



Obr. č. 7. Delayed match to sample. Experiment začíná v době, kdy opice chytí páčku. V další fázi se na obrazovce objeví „sample“, kde je zobrazen stimulus s různým počtem teček od 1 – 7. Následuje krátká odmlka tzv. delay a po něm následuje zobrazení další sady stimulů. Jestliže je početnost stimulu stejná jako na sample tzv. „match“ opice použije páčku a dostává odměnu. Pokud je početnost jiná tzv. „nonmatch“ opice by měla držet páčku dál až do dalšího zobrazení stimulů se shodným počtem. Převzato z: Nieder a Miler, 2004

Dva dospělí samci makaka rhesuse byli testováni na relativní početnost. Subjekty seděly před monitorem, kde se zobrazily ve spodních rozích dva černé obdélníky označené A a B a ruka, která po spuštění testu spouští různý počet objektů do každého obdélníku. Po ukončení série měli makaci za úkol označit kurzorem ten obdélník, ve kterém bylo více objektů. V prvním experimentu testovali různé poměry od 1 – 10 položek. Zde byla velká úspěšnost do 4. položky, poté se úspěšnost lehce snižovala. V druhém experimentu manipulovali s časem tak, aby umístování do obou obdélníků bylo časově shodné a zamezilo se tím větší úspěšnosti výběru díky době strávené umístování početnějšího množství čtverců. Procentuální úspěšnost se nezměnila. V další sérii byly do testování zařazeny malé

a velké čtverce, které náhodně padaly do jednotlivých obdélníků. Došlo k minimálnímu poklesu úspěšnosti, která se ale nepovažuje za důsledek vlivu velikosti čtverců. V posledním experimentu manipulovali s časem spouštění jednotlivých čtverců a rychlostí padajících stimulů. Jedna opice snížila svou úspěšnost, ale druhá byla stále závislá na jednotlivých poměrech a délka či rychlost padajících stimulů ji nijak neovlivnila (Beran, 2007).



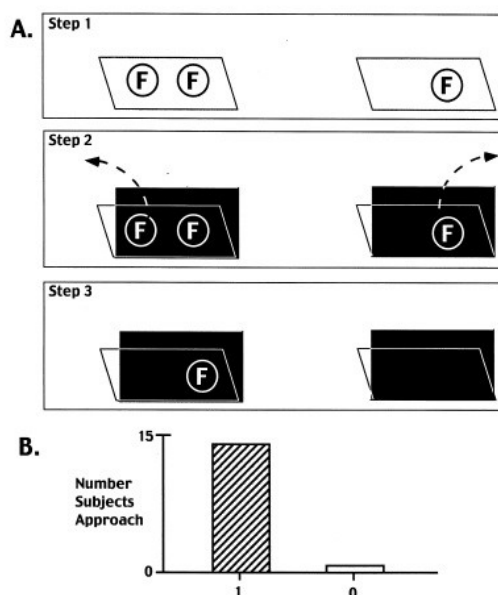
Obr. č. 8. Grafické znázornění stimulů na obrazovce. Převzato z: Beran, 2007.

Sumace

Flombaum et. al. (2005) provedli studii se zaměřením na sumaci u volně žijící skupiny makaků *macaca mulatta*, čítající 161 jedinců. Experiment neobsahoval žádný předchozí trénink, pouze familiarizaci stimulů. Sledovali, zda se primáti budou dívat déle na nemožný výsledek oproti výsledku správnému. Experimentátoři přidávali za plentu na jeviště jednotlivé citróny, a to v počtu $3 + 1$ nebo $2 + 2$. Po odebrání plenty zde byl buď odpovídající počet citrónů 4, nebo jich bylo naopak více 8. Opice správně diskriminovaly počty stimulů a déle se dívaly na citróny v početnosti osm u obou případů. S počty v poměru 2:2 tedy $2 + 2 = 4$ nebo $2 + 2 = 6$ však už nebyly výsledky signifikantní.

Sulowski a Hauser (2001) testoval jinou skupinu volně žijících primátů druhu makak *rhesus macaca mulatta* v odečítání menšího počtu objektů. Opicím prezentovali vždy dvě množství objektů, a to buď potravních stimulů – švestek, nebo nepotravních stimulů – železných ořechů na dvou oddělených jevištích. Stimuly dokonce různě kombinovali. Po zakrytí jeviště plentou se jednotlivé stimuly buď odebíraly, nebo přidávaly k danému

množství, a to vše tak, aby subjekty nic neviděly. Po tomto sledu událostí bylo opicím dovoleno vybrat si mezi jedním ze dvou setů. Makaci se nevyhýbali vybrat si stranu, kdy došlo k odebrání a pochopili i koncept nuly. Ve většině případů si vybrali vždy tu stranu, kde bylo víc potravy, a to i v případě, kdy si měli vybírat mezi jedlými a nejedlými stimuly. V případě, kdy bylo množství stimulů vyrovnané na obou stranách, opice vybírali náhodně.

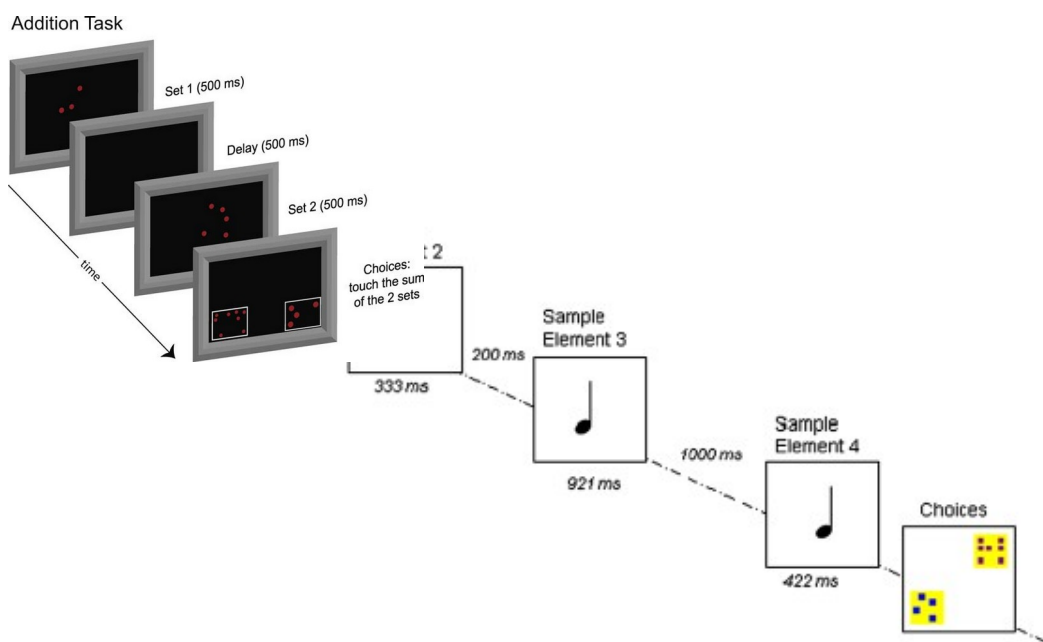


Obr. č. 9. Jedna z 11 sérií ilustrující metodiku postupu. V prvním kroku byly předvedeny 2 a 1 objekt. V druhém kroku byl na každé straně odebrán jeden stimul a ve třetím si opice vybírali. Všechny 15 subjektů si vybralo správnou stranu s jedním stimulem. Převzato z: Sulowsky a Hauser, 2001

V další studii byli makakové natrénováni vybírat si vždy jednu ze dvou barevných nádob. Každou barevnou nádobu si asociovali se stejným počtem položek – odměna ve formě ovocných granulí. V experimentu na sumaci byly před subjekty předloženy vždy dva sady obsahující dvě barevné nádoby. Opice dostala tolik odměny, kolik bylo ve vybraném setu. Všichni měli velikou úspěšnost 80 % až 100 %. Autor usuzuje, že opice se naučily vybírat větší množství prvků daleko rychleji v závislosti na asociaci počtu s barvou stimulů (Beran et. al., 2005).

Cantlon a Brannon (2007), testovali 2 samice makaka rhesuse (*macaca mulatta*) a 14 studentů v sumaci červených teček na černém pozadí. Metodika spočívala ve vybrání správného součtu dvou setů obsahujícím různý počet stimulů (červené tečky na černém pozadí), které se postupně objevily na dotykové obrazovce. Stimuly byly v množství 1 až 9

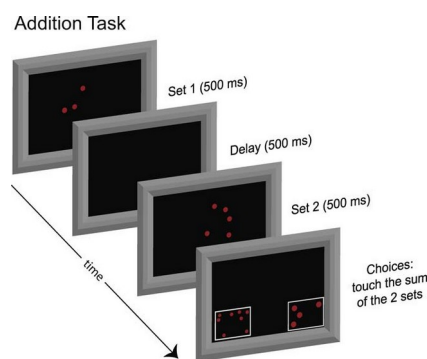
(nejlehčí $1 + 1$) a dále na součtech 12 a 16. Lidé dosáhli úspěchu 94 % oproti opicím, které



měly 76 % úspěšnost, avšak zvolení odpovědi trvalo oběma přibližně stejnou dobu.

Obr. č. 10. Po jednotlivých časových intervalech byly přehrávány tóny, na tomto příkladu 4 tóny. Po doznění čtvrtého tónu se na obrazovce objevily dvě sady stimulů: 4 čtverce a 7 čtverců. Za správný výběr, tedy za výběr čtyř čtverců byla opice odměněna. Převzato z: Jordan et. al., 2008.

Jordan et. al., 2008 ve své studii prokázali, že makak rhesus je schopný aktivně přiřadit správný počet auditorních stimulů (tónů) ke stejně početnému vizuálnímu stimulu (čtvercům projektovaným na obrazovce) a předkládají tak první důkaz o porovnání různých modalit. Po zaznění několika po sobě jdoucích tónů (1 – 9) či po zobrazení po sobě jdoucích objektů na obrazovce (1 – 9) dostaly opice na výběr mezi dvěma sadami různě početných čtverců. Opice měly za úkol vybrat shodující se počet objektů na obrazovce s předlohou, tedy počtem zazněných tónů. Opice byly schopny přiřadit správný počet stimulů nezávisle na rozdílné modalitě stimulu a jejich úspěšnost se řídila Weberovým zákonem.



Obr. č. 11. Opicím a lidem byla prezentována jedna sada stimulů následována krátkou prodlevou po které pokračovala druhá sada stimulů. V závěru musely subjekty vybrat správný součet obou sad stimulů. Převzato z: Cantlon a Brannon, 2007

Ordinalita

Harris et al., 2007 provedli studii ordinality na dvou makacích *macaca mulatta*, kteří srovnávali a řadili jednotlivé prvky podle ustanoveného pořadí. Prvky byly zahrnuty ve třech různých sadách, a to sada s arabskými číslicemi od 1 do 5, sada s pěti různě barevnými tečkami a sada se symboly “\$,” “%,” “@,” “#”. Opice měly pohybovat kurzorem po obrazovce k jednotlivým stimulům ve správném pořadí a za každé správné srovnání zazněl zvuk a subjekty byly odměněny. V první části opice řadily prvky pouze z jedné sady. V další fázi měly vybrat větší hodnotu ze 2 možností - každá hodnota byla vždy z jiné sady (číslo vs. symbol atd.). Za vybranou odpověď nenásledovala žádná odměna. V poslední fázi dali experimentátoři subjektům zcela nové stimuly – černé mnohoúhelníky od 1 po 5 objektů. Opice měly vybrat vždy menší hodnotu a celkem měly na výběr z 6 možností dvou dvojic z různých kategorií: číslo vs. barva, číslo vs. symbol, barva vs. symbol, číslo vs. početnost, barva vs. početnost a symbol vs. početnost. Předpokladem bylo, že se opice rychleji naučí seřazovat sestupně, jelikož s touto úlohou pracovaly v předchozích experimentech. Výsledky však ukázaly, že předchozí učení nemělo žádný efekt. Opice dokázaly reagovat a správně odpovídat na různé stimuly každé z jiné sady, což ukazuje, že jsou schopni využít informaci o ordinální pozici každého z prvků. Jedna z opic dokázala vyřešit všech 6 typů úloh. Zcela nové objekty - různě početné mnohoúhelníky si dokázala dát do kontextu s ordinalitou symbolů, čísel a barev a správně porovnávala jednotlivé prvky.

Dva sedmiletí makaci se naučili, že jednotlivé arabské číslice od 0 do 9 korespondují s odpovídajícím počtem ovocných granulí (číslice 3 – 3 granule atd.). Na počítačové obrazovce pomocí joysticku mohli makaci v první části experimentu vybrat vždy jednu arabskou číslici ze dvou možných čísel. I přes to, že dostávali odměnu za výběr menšího

množství se naučili vybírat větší číslici. V druhé části experimentu se přidaly nové číslice 6, 7, 8 a 9. Pouze jeden z makaků uspěl ve výběru většího množství nad hranicí náhody. Ve třetí části experimentátoři pozměnili dobu doručení ovocných pelet, která byla randomizována od 2 po 2.25 sekund pro různá čísla, aby zabránili makakům využívat tuto časovou prodlevu jako klíč k úspěchu. Oba makaci vybírali opět větší hodnotu. V poslední části experimentu byli makaci vystaveni úplně novému designu úlohy. Na obrazovce se objevily místo dvou čtyři číslice. Oba subjekty se naučily vybírat číslice od největší po nejmenší hodnotu, tedy v ascendentním pořadí. Generalizace nové úlohy byla evidentní už během počátku prvních sérií – 72,8 % a 51.6 % (Washburn a Rumbaugh, 1991).

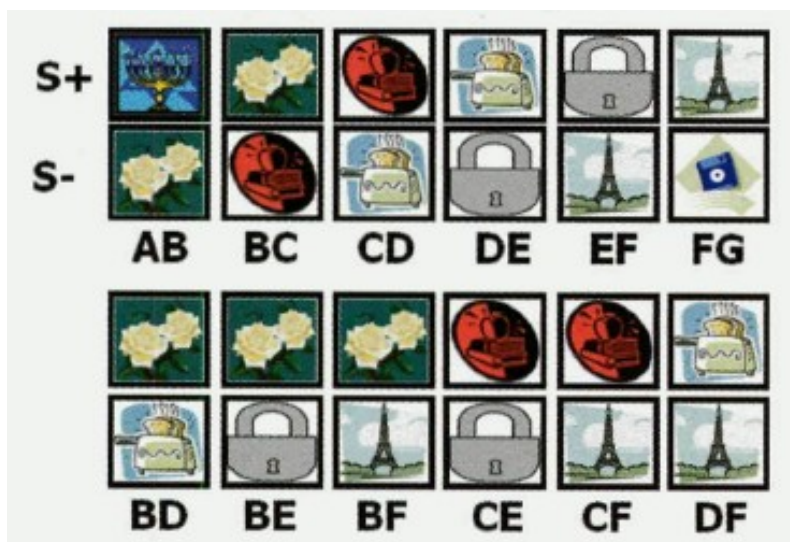


Obr. č. 12. Makak řadí číslice v ascendentním pořadí dotykem na dané číslo promítané na obrazovce (8 – 6 – 5 – 4 – 1). Převzato z Washburn a Rumbaugh, 1991

V druhé části experimentu, alespoň u některých jedinců, zde mohla opět hrát roli motivace. Primát dostal odměnu opět za jakýkoliv výběr, takže pro něj nemuselo být stěžejní vybírat si například mezi 6 nebo 7 ovocnými granulemi. Opět zde poklesla úspěšnost od 5 prvku.

Transitivní inference

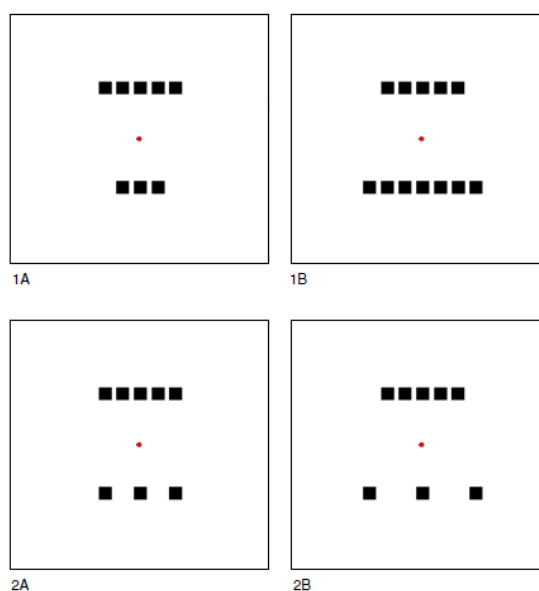
Gazes et. al., 2012 testovali 12 dospělých samců makaků v tranzitivní inferenci. V tréninkové části se učili vybírat vždy jeden prvek z dvojice stimulů prezentované jako překrývající se sousedící páry (A + B, B + C atd.), které byly organizované do lineární implikované řady $A > B > C > D > E > F > G$. Stimuly byly subjektům prezentované na touchscreeenu ve formě clip artových obrázků. Makaci tuto úlohu transitivní inference úspěšně zvládli dokonce i se 7 prvky.



Obr. č. 13. Příklady clip artových stimulů prezentované subjektům. Horní řada zobrazuje tréninkové sousedící dvojice stimulů, kde S+ značí odměňovaný objekt a S- neodměňovaný. Dolní řada obsahuje příklady testovacích nesousedících dvojic v experimentální části. Převzato z: Gazes et. al., 2012.

Zachování kvantity

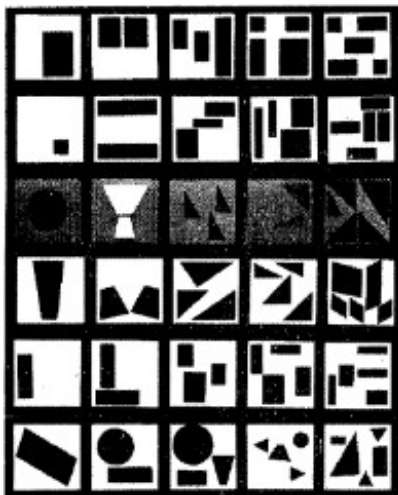
Makak rhesus byl testován v zachování množství, kde byly porovnávány dvě odlišné řady stimulů (černých čtverců), s kterými se v průběhu experimentu manipulovalo a opice byla odměňována za výběr řady s větší početností objektů. Po původním zobrazení stimulů na obrazovce se buď přidávaly či odebíraly jednotlivé čtverce k řadě nebo se zachovala početnost čtverců a pouze se mezera mezi čtverci zvětšila či zmenšila. Pět ze šesti opic pokračovaly z pretréninku do testovací fáze. U početnosti 5 vs. 7 teček byla celková úspěšnost 59 %, u početnosti 3 vs. 5 teček 76 % a u 5 vs. 9 teček 81 %. Celková úspěšnost závisela na jednotlivých poměrech dvou hodnot. Výsledky ukazují, že se makaci řídili početností stimulů a byli si vědomi změnami spojené s přidáváním či odebíráním jednotlivých čtverců v řadě. I když se řada stimulů změnila pouze v uspořádání, opice správně volily větší množství ve velkém procentu jednotlivých výběrů (Beran, 2007).



Obr. č. 14. Dva příklady různých typů úloh s řadami stimulů prezentované subjektům na obrazovce. 1A: počáteční zobrazení úlohy s počtem 3 vs. 5 čtverců. 1B: po přidání 4 čtverců navíc je původně menší řada početnější. 2A: další příklad porovnání stejně dlouhých řad s početností 3 vs. 5 čtverců. 2B: dolní řada se rozšířila avšak početnost je stále menší. Převzato z: Beran, 2007

Absolutní početnost

Hicks, 1956 testoval 8 jedinců makaka rhesuse na absolutní početnost. Opicím byla předkládána vždy dvojice či trojice karet, na kterých byly vyobrazeny různé abstraktní geometrické obrazce, které se lišily v barvě, konfiguraci, tvaru i velikosti. Správná volba byla pouze ve výběru karty se 3 obrazci. Subjekty správně přiřadily vybranou hodnotu k abstraktním stimulům, bez ohledu na jejich různorodost.



Obr. č. 15. ukázka stimulů představující různorodé geometrické obrazce. Převzato z: Hicks, 1956

2. 2. 7 Orangutan bornejský *Pongo pygmaeus*

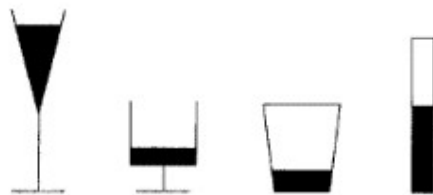
U orangutana bornejského byla zatím prokázána relativní početnost a zachování kvantity.

Relativní početnost

Tři jedinci orangutanů vybírali větší množství ze dvou sad zobrazovaných stimulů. Testování mělo tři podmínky. V první sérii prezentovali experimentátoři subjektům dvojici stimulů (různé množství kousků potravy) současně a nechali tuto sadu po celou dobu výběru viditelnou. V druhé sérii byly opět předkládány dvojice sad stimulů současně, avšak po prezentaci subjektům sadu stimulů experimentátoři zakryli, takže primáti museli uchovat v paměti dané množství a poté vybrat větší kvantitu. Ve třetí sérii předkládali primátům kousky potravy postupně, které po prezentaci subjektům opět zakryli, čímž zabránili jakémukoliv vizuálnímu srovnání během sezení. Orangutani vybírali větší množství v průměru v 88 % ve všech 3 typech úloh (Chantek: 95 %, Teriang: 86 %, Solok: 82 %) (Call, 2000).

Zachování kvantity

Subjekty byly 4 dospělí orangutani. Experiment sestával z prezentace subjektům různého množství tekutin (pomerančového džusu) v různě tvarovaných nádobách. Subjekt si vybíral mezi dvěma předkládanými stimuly (nádobami s tekutinou), které pak následně mohl vypít. Džus byl naléván v těchto množstvích: 0, 45 nebo 90 ml a tvar nádob byl viz obr. č. 16. První test zahrnoval prezentaci dvou identických nádob s odlišným množstvím tekutiny 0 a 45 ml. Druhý test s množstvím tekutiny 45 a 90 ml. V tomto případě subjekty vybraly vždy větší množství džusu. Třetí test sestával z prezentace dvou odlišných nádob se stejným množstvím tekutiny, kde 3 ze 4 subjektů vybíraly zcela náhodně. V posledním testu měly opice na výběr 2 nádoby s odlišným tvarem a rozdílným množstvím tekutiny. Tři ze čtyř subjektů vybíraly správně vždy větší množství tekutiny nezávisle na tvaru nádoby. Tento experiment dokazuje schopnost orangutanů rozlišit množství tekutin a výběr správného množství nebyl ani ovlivněn tvarem nádob (Call a Rochat, 1996).



Obr. č. 16. Varianta předkládaných nádob subjektům. Převzato z: Call a Rochat, 1996.

2. 2. 8 Šimpanz učenlivý *Pan troglodytes*

Šimpaza učenlivý (*Pan troglodytes*) je náš nejbližší příbuzný, od kterého jsme se oddělili přibližně před 7 miliony let. U tohoto druhu primáta se předpokládá vysoká kognitivní dovednost u řešení různých numerických úloh a také se stal velmi oblíbeným subjektem v mnoha experimentech. U šimpanze se prokázala celá škála numerických kompetencí od relativní početnosti po pravé počítání a je tak zatím jediný druh primáta, kromě člověka, který zvládl všechny početní úlohy.

Sumace

Beran, 2001 zjistil, že šimpanzi dokáží reprezentovat určité množství a úspěšně kombinují a porovnávají sekvenčně prezentované sady položek. Dva jedinci šimpanze učenlivého figurovali v experimentu, ve kterém vybírali jeden ze dvou kalíšků s určitým počtem bonbónů (možný počet byl od 1 po 9). V první sérii si subjekty vybíraly jednu ze dvou množství bonbónů, které vkládali jeden po druhém do neprůhledných nádob. V druhém experimentu dávali bonbóny do nádoby po jednotlivých sekcích, takže výsledná početnost nebyla prezentována jako samostatná sekvence. Nejdříve dali první sadu stimulů do obou nádob a ihned poté druhou sadu. Opice si tedy museli spočítat výslednou hodnotu. V obou sériích opice uspěly a vybíraly větší hodnotu. Ve třetím experimentu byli jednotlivé kvantify prezentované jako 3 malé sety (například $2 + 2 + 3$ vs. $3 + 4 + 1$). Ve čtvrtém experimentu byl před volbou primáta vždy jeden bonbón z jednoho setu odebrán. Jeden ze dvou šimpanzů dokázal tyto dvě úlohy splnit nad rámec náhodné volby. Podobným výsledkům dosáhli v jiné studii, kde šimpanzi sčítali dvě různá množství. Stimuly představovaly stejně velké kousky čokolády a subjekty si vybíraly mezi dvěma tácy, kde na každém tácu byly dvě misky s různým počtem kousků potravy (0 – 4) v různém poměru. Oba subjekty dosahovaly v průměru až 90 % úspěšnosti (Rumbaugh et. al., 1987).

Relativní početnost

Dvě dospělé samice šimpanze byly trénované k výběru většího množství objektů ze dvou odlišných sad. V každé sérii byly na monitoru prezentované dvě sady obsahující různý počet červených teček. V první sérii vybíraly z 28 různých poměrů čísel od 1 – 8. Oba primáti dosáhli v této úloze vysoké úspěšnosti 87 % a 93 %. V další části experimentu

šimpanzi dostali 3 různé série. Celková plocha jednotlivých objektů ve stimulu negativně korelovala s početností (1. série), plocha objektů byla stejně veliká u obou možností stimulů (2. série) nebo se manipulovalo s hustotou uspořádání teček (3. série). Všechny 3 typy úloh zvládly s více než 80 % úspěšností (Tomonaga, 2008).

Ordinalita

Beran et. al., 2006 zjistil, že opice jsou schopné plánovat svůj výběr pro ordinální řazení čísl, ale pouze omezeně. Subjekty byly 3 šimpanzi *pan paniscus* a 2 makaci *macaca mulatta*, kteří byly vytrénováni k výběru čísel ve správném pořadí. Pořadí jednotlivých čísel vybíraly pomocí joysticku na počítačové obrazovce. Šimpanzi vybírali číslce vzestupně a makaci naopak sestupně v početnosti od 1 do 5. V úloze byly zahrnuty dvě podmínky. První podmínka tzv. „shift condition“ spočívala ve výměně dvou čísel na 2. a 3. pozici po označení prvního prvku v řadě (číslo 1 pro šimpanze a číslo 5 pro makaky). Druhá podmínka tzv. „mask condition“ zakryla všechny ostatní prvky po označení prvního výběru. V druhém experimentu byly zobrazeny místo čísel barevné obdélníky, kde každá barva měla své specifické pořadí. Čtyři opice z pěti v experimentu uspěly a u všech subjektů byla delší odmlka při přehození druhé a třetí barvy v pořadí. Dalších úloh se účastnili pouze šimpanzi. Třetí experiment tkvěl v rozšíření čísel o novou řadu od 5 do 9, všichni šimpanzi zde uspěli. Ve čtvrtém experimentu byl postup stejný jako u prvního, ale zakrytí čísel následovalo buď po prvním, druhém nebo třetím čísle. Všechny opice uspěly a nezáleželo na tom, které číslo se zakryje. Poslední experiment stejný jako 1. ale po kliknutí na první číslo se vyměnily čísla 3 a 4.

Transitivní inference

Tři šimpanzi byli testováni na schopnost ordinality a transitivity. V prvním experimentu byly subjekty trénovány k diskriminaci mezi sousedícími dvojicemi stimulů (různě barevné desky) v daném pořadí A – B – C – D – E (tedy naučené dvojice AB, BC, CD a DE). Druhý prvek v řadě byl vždy odměňován, dokud se všechny 4 dvojice nenaučily vybírat správně. V další sérii byl předložen pro subjekty zcela nový nesousedící pár B a D. Všichni primáti spolehlivě vybrali prvek označený D. V druhém experimentu primáti

vybírali mezi arabskými číslicemi 1 – 2 – 3 – 4 – 5, kde pouze jeden primát dokázal vybrat nový nesousedící pár 2 a 4. Ve třetím experimentu měli primáti za úkol vybírat naopak vždy menší hodnotu ve snaze zjistit, zda typicky jednosměrný přístup tranzitivní inference nějakým způsobem nepřispívá k úspěšnému provedení úkolu. Tohoto experimentu se zúčastnila pouze samice Sheba, jelikož uspěla v předešlém testu. Stimuly byly předkládány v descendentním pořadí, tedy od 5 po 1. Sheba vybrala menší prvek ve dvojici 2 a 4 ve 28 případech ze 30. Toto testování dokazuje, že alespoň jeden šimpanz vlastní kognitivní flexibilitu ohledně řazení prvku v řadě, který dokáže tuto schopnost aplikovat v ascendentním i v descendentním pořadí (Boysen, et. al., 1993).

Zachování kvantity

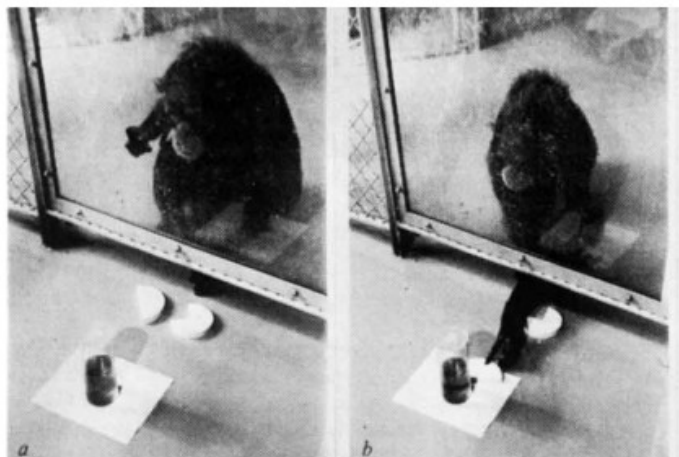
Beran, 2010 ve své studii uvádí, že lidoopi jsou schopni kvantifikovat kontinuální množství, i přes to, že diskriminaci mezi množstvím dvou roztoků prováděli s omezenými vizuálními informacemi. Testování se zúčastnili tři šimpanzi Lana, Panza a Sherman. V prvním experimentu si šimpanzi vybírali mezi dvěma nádobami, které byly naplněné odlišným množstvím ovocné šťávy. Experimentátoři nejdříve předkládali dvě průhledné nádoby, do kterých nalévali 100, 200, 300, 400, 500 nebo 600 ml ovocné šťávy injekční stříkačkou. Vybrané množství bylo zkonzumováno a druhá nádoba byla následně odstraněna. V další sérii však před subjekty postavili neprůhledné nádoby, které vyplňovali neprůhlednými stříkačkami tekutinou opět ve všech možných kombinacích od 100 do 600 ml tekutiny. V první sérii byla Lana i Sherman bezchybní a vybrali vždy větší množství ovocné šťávy. Panza chyboval pouze jednou, a to u poměru 5:6. V druhé sérii byli také signifikantně úspěšní nad procentuální hranicí náhody, Lana s Shermanem vybírali větší množství v 78 % a Panzee v 77 %. V další části nabídli primátům průhlednou nádobu s tekutinou, která byla po celou dobu experimentu viditelná a druhou neprůhlednou nádobu. Porovnávali tedy jednu nádobu viditelnou po celou dobu testování s druhou, jejíž obsah viděli pouze při přelití ze stříkačky. Lana a Sherman dosáhli 82 % úspěšnosti a Panzee 87 %. V poslední části lili experimentátoři jednu ze dvojic z daleko větší výšky, takže tekutina byla viditelná po delší dobu při přelívání do nádoby. I v této části experimentu měli primáti vysokou úspěšnost Lana 80 %, Panzee 83 % a Sherman 78 %.

Šimpanzice Lara byla naučena používat dvě slova napsaná na desce: „stejný“ a „odlišný“ u kterých znala jejich význam. Předkládány byly dvě skleničky tří různých

velikostí. Polovina opakování byla v každé sérii se stejným obsahem a polovina obsahovala jiné množství dané látky (vody či jílů). V další části experimentátoři předkládali dvě identické skleničky, kde se buď hladina vodního sloupce nelišila a obsah v obou skleničkách byl stejný nebo obsahovaly tekutinu či jíl lišící se mezi sebou minimálně o 5 cm vodního sloupce. Do skleniček experimentátoři dávali buď čistou vodu nebo do nich sypali jíl. Po předložení dvou sklenic byla Lara vyzvána k tomu, aby dala mezi dva stimuly kartu s označením buď „stejný“ nebo „odlišný“. Na konci úspěšného sezení dostala Sarah odměnu ve formě ovoce či sladkosti. V testech dosáhla poměrně velké úspěšnosti. Úspěšnost však dramaticky klesla při kontrolním testu, kdy experimentátor předložil před subjektu dané množství, poté s nádobami odešel z místnosti, kde přelil určité množství mimo oční kontakt primáta a vrátil se s nádobami zpět pro nové určení „stejný“ nebo „odlišný“ obsah (Woodruff, 1978).

Proporcionalita

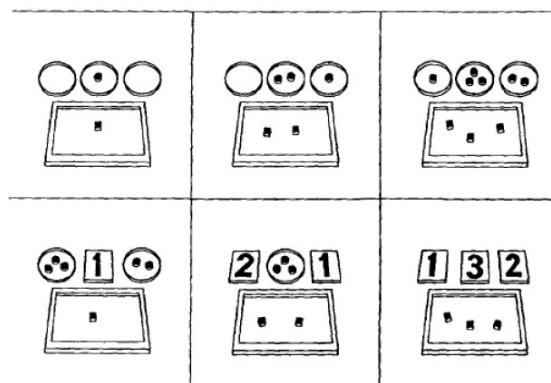
Proporcionalita byla testována pouze jednou, a to u druhu šimpanze učenlivého. Jeden dospělý a čtyři juvenilní jedinci byli testováni na pochopení proporcionality pomocí match to sample metody. Po subjektech bylo vyžadováno vybrat jeden stimul ze setu, který byl identický svým rozměrem k tzv. „samplu“ neboli předloze. Stimuly představovaly objekty z tří různých sekcí: potrava kulatého tvaru jablko, grapefruit nebo brambora (5 – 15 cm), dřevěná kolečka (měřící od 2,5 – 17,5 cm) a válce (skleničky) naplněné vodou obarvenou potravinářským barvivem. Tyto stimuly byly rozděleny na $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ nebo zůstaly v celku a jednotlivé sekce byly porovnávány a přiřazovány k sobě. Dospělý jedinec dokázal přiřadit odpovídající proporce objektů správně. Juvenilní jedinci měli horší úspěšnost (Woodruff a Premack, 1981).



Obr. č. 17. Šimpanzice Sarah má před sebou válec naplněný vodou z $\frac{1}{2}$ tzv. sample a k výběru 2 dřevěná kolečka která jsou rozdělena na $\frac{1}{2}$ a druhé je rozděleno na $\frac{3}{4}$. Subjekt správně vybírá stejnou proporcí předlohy tedy rozpůlené dřevěné kolečko a přiřazuje k válci naplněného z poloviny vodou. Převzato z: Woodruff a Premack, 1981.

Absolutní početnost

Šimpanzi Sheba, Darrell, Kermit a Sarah byli vytrénováni k tomu, aby vybírali a přiřazovali konkrétní počet předložených prvků. Opice měly za úkol vybírat karty s arabskými číslicemi, které se měly shodovat s počtem granulí na předloženém tácu (od 1 do 3 stimulů). Například když byly na tácu dvě granule, subjekt měl vybrat kartu s označením 2. Na začátku série této úlohy nebyly na výběr karty s číslicemi, ale pouze granule (opět byl na výběr mezi 1, 2 nebo 3 granulemi). Vybírat arabskou číslici se naučili asociací systematického nahrazování granulí za karty s číslicemi viz. obr. č. 18.



Obr. č. 18. Předložený počet odměn na tácu a tři možnosti výběru v kulatých miskách. Převzato z: Boysen a Berntson, 1989.

Vždy po dosažení 90 % úspěšnosti, se přidala nová karta s novou číslicí. Sheba tak dokázala vybírat karty s číslicemi od 0 – 8 prvků, 0 -7 Darrell a 0 – 5 prvků Kermit a Sarah. V další úloze měly subjekty před sebou obrazovku, na které se jim promítaly arabské číslice. Opice měla správně vybrat odpovídající množství z předem připraveného tácu s různým počtem granulí. Například když se objevila číslice 3, opice musela vybrat řadu 3 granulí a ignorovat ostatní. Jako v každé jiné úloze, vybrané množství mohli zkonzumovat. Opice v této úloze ignorovaly zobrazenou číslici a vybíraly vždy větší množství předkládaných granulí. Po několika neúspěšných sezeních experimentátoři vyměnili granule za karty s nakreslenými stimuly. Tato změna vedla téměř k okamžitému zlepšení výkonosti primátů. Šimpanzi se rychle naučili věnovat pozornost obrazovce, kterou před tím ignorovali a vybírat karty s odpovídajícím počtem objektů. Darell dosáhl 70 % úspěšnosti po 201 opakování, Kermit 72 % po 315 opakování a Sheba 69 % po 282 opakování (Boysen a Berntson, 1989).

Matsuzawa, 1985 trénoval jedince k určování absolutního počtu. Promítané arabské číslice na obrazovce (1 – 6) dokázala přiřadit k jednotlivým různě početným objektům. V této úloze měla vyšší než devadesát procentní úspěšnost. Uspěla také v úlohách, kde rozpoznala a přiřadila hodnotu od 1 po 5 k různě početným objektům.

Pravé počítání

Boysen a Berntson, 1989 kteří prováděli experimenty s primáty na absolutní početnost (popsané v předešlé kapitole) pokračovala výzkum s jedním ze šimpanzů, a to s Shebou. Autory zajímalo, zda bude primát vytrénovaný k přiřazování správné číslice k určitému počtu prvků schopen naučit se spočítat předložené stimuly, aranžované v poněkud přirozenějším prostředí. V aréně byly 3 různé stanoviště – pářez umístěný na konci laboratoře, ocelová nádoba na potraviny připevněná k přední části klece a plastová miska na podlaze. Všechny tyto lokality tvořili trojúhelník. Mezi těmito stanovišti byla dřevěná lavice, kde byly poskládané karty s číslicemi od 1 do 4. Do každého ze stanovišť dali experimentátoři různý počet pomerančů tak, aby nebyly vidět. Sheba měla jít vybrat pomeranče, spočítat je a vybrat správnou kartu s číslicí odpovídající početnosti pomerančů. Sheba prokázala schopnost pochopit a dokončit tuto úlohu od samého počátku. Byla schopna ihned pochopit strukturu pravidel tohoto experimentu bez jakéhokoliv předchozího tréninku. V další sérii vyměnili experimentátoři pomeranče za karty s číslicemi a v této úloze dosahovala ještě vyšší úspěšnosti. Tyto výsledky poskytují pozoruhodný závěr, že šimpanz

dokázal pochopit pro něj zcela novou úlohu, kde se spontánně pohyboval v utvořené aréně, počítal objekty použité v předešlé úloze a snadno vyřešil obě úlohy, což vyžaduje schopnost počítání a udržení informace o početnosti v průběhu experimentu.

Beran a Rambough, 2001 provedli studii se dvěma šimpanzi Lanou (27) a Mercurym (11), kteří měli dlouholetou zkušenost s kognitivními experimenty na počítači vyžadující manipulaci s joystickem a v předešlém experimentu dokázali seřadit arabské číslice od 1 po 9 ve správném pořadí. Jejich úkolem bylo přiřadit a spočítat správný počet stimulů (černé tečky na obrazovce) k zobrazené číslici. Subjekty používaly joystick, kterým pohybovaly po obrazovce a kurzorem označovaly jednotlivé tečky až do požadované hodnoty. V momentě „označení“ tečky zazněl tón a stimul zmizel z obrazovky a transformoval se do geometrického obrazce v horní části obrazovky (tyto tvary měly sloužit jako zpětné vybavení si počtu již nashromážděných stimulů). Podmínkou v této úloze bylo, že na obrazovce se objevilo vždy větší množství teček, než reprezentovala arabská číslice objevená na monitoru. Konfigurace teček se v každém opakování lišila a za správné přiřazení číselné hodnoty byli šimpanzi odměněni. Experiment začal s číslicí 1 a 2, po 5 po sobě následujících opakování se 70 % úspěšností se přidala další číslice. Mercury dokázal přiřadit konkrétní počet prvků do čísla 7, lana do čísla 6.

3. Experimentální část

3.1 Cíle práce

1. Studovat relativní početnost u druhu makak rhesus *Macaca mulatta*.
2. Zjistit, zda jsou makaci schopni abstrahovat stimuly odlišující se svou konfigurací, tvarem, barevností a velikostí, a to při volbě většího i menšího stimulu.
3. Zjistit, zda jsou primáti schopni generalizovat informaci o relativní početnosti a následně ji aplikovat na nový typ úlohy.

3. 2 Metodika

3. 2. 1 Subjekty

Ve všech testovaných úlohách byli do experimentu zařazeni 3 dospělí samci makaka rhesuse (*Macaca mulatta*) Attila, Puck a Vergilius. Attila s Puckem jsou starší samci, kterým bylo na začátku testování 14 let, Vergilius je o něco mladší a v době začátku experimentu mu bylo 10 let.

Během studie na relativní početnost makaci nebyli zapojeni do dalšího jiného experimentování. V rámci dalšího enrichment chovu jsme do doby mimo testování relativní početnosti zařadili jednoduché úlohy jako například následování targetu. V minulosti byli makaci testováni v mnoha jiných kognitivních úlohách, především starší samci. Attila s Puckem podstoupili úlohy týkající se prostorové kognice, kde se naučili používat dotykovou obrazovku, dále již s mladším samcem Vergiliem podstoupili testování na stálost objektu, reakci na nové objekty a také se u nich zjišťovala preference barev.

Tento experiment na výběr určitého množství nepotravních stimulů volně navazuje na předchozí studii (Rejlová, 2016), která se také věnovala otázce relativní početnosti, avšak se stimuly potravními. Před subjekty byly předkládány různě velké či různě početné kousky potravy, kde bylo předpokladem, že si opice vybere větší množství. Tato metoda testování nevyžaduje žádný předchozí trénink, jelikož si subjekt vybírá spontánně čistě z vnitřní motivace. Testování s nepotravními abstraktními stimuly předcházelo intenzivnímu tréninku.

Makaci jsou umístěni ve specializovaném chovném zařízení autorizovaném Ústřední komisí pro ochranu zvířat Ministerstva zemědělství ČR, licence 20744/2007-10001, v Ústavu fyziologie 3. lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Praze. Chovná voliéra je rozdělena do 4 oddílů, kvůli lepší manipulaci. Attila s Puckem sdílejí společné prostory a Vergilius má svou vlastní voliéru.

Attila je na vrcholu hierarchického žebříčku naší chovné skupiny. Svou dominanci dává ostatním samcům i experimentátorům neustále najevo různými výhrůžnými projevy jako je přímý oční kontakt s daným jednotlivcem, výhrůžný postoj s přední částí těla mírně skloněnou, naježená srst, hlasitá vokalizace, otevření úst či cenění zubů. Puck je naopak nejnižší postavený samec skupiny a svou submisivitu dává Attilovi najevo setrváním v nižších částech voliéry, vyhýbáním se a Attilovi poskytuje grooming. Je také menšího vzrůstu a má bledší okolí testes. Vergilius zůstává od této dvojice oddělen, abychom předešli

případné agresí mezi oběma dominantními samci. Mezi těmito oddělenými skupinami zůstává volný prostor pro manipulaci zvířat. Každý ze samců má své místo – polici, kde tráví nejvíce času, odpočívá zde a spí. Samci jsou mezi sebou v neustálém kontaktu, Vergilius alespoň v kontaktu vizuálním.

Experimentování s jednotlivými subjekty nemělo dané pořadí a vybírala jsem podle motivace zvířat (který makak se jako první dostavil na testovací místo). Attila díky svému dominantnímu postavení a jeho impulzivnímu chování občas nechce spolupracovat, k experimentátorovi se chová agresivně a testování se v některých situacích muselo přerušit a odložit na další den. V tu chvíli pošlu opici na své místo klikem a pokračuji s dalším jedincem. V době testování Pucka nechávám Attilu ve vedlejší voliére, aby nepřerušoval testování. Puck je při testování velmi klidný občas až moc horlivý, jelikož je silně motivován plnit úlohy. Vergilius byl ze začátku experimentování trochu plachý a nechtěl slézt na testovací místo, nejspíš z důvodu menší nedůvěře k experimentátorům. Postupem času se však jeho plachost zmírnila. Je velmi chytrý, rychlý ve svém výběru, málokdy dělá chyby a testování ho baví.

Testované subjekty měly neustálý přístup k čerstvé pitné vodě, denně dostávají standardní krmnou dávku ve formě granulí pro býložravce, čerstvou zeleninu a méně preferované ovoce. Preferované ovoce získávají jako odměnu při experimentování kvůli větší motivaci správné řešení úlohy.

3. 2. 2. Aparatura

Při testování relativní početnosti jsem využívala dřevěnou desku o rozměrech 25 x 50 cm, na kterou pokládáme dřevěné kostky s nalepenými stimuly (stimul je popsán v další podkapitole). Tato deska má na vnitřní straně železné háky ve tvaru L, na které se aparatura zavěšuje volně na příslušnou voliéru tak, aby měl subjekt při testování aparaturu ve vhodné výšce kvůli přesné percepci předkládaných stimulů. Mezi dřevěnou deskou a úrovní očí subjektů byl kolem 20 cm rozdíl.

V každé sérii testování jsem také využívala klikr, který slouží k označování správné volby a lze ho aplikovat pro posílení vazby mezi správným výběrem a získání odměny. Jedná se o plastovou krabičku o rozměrech 4x7x2 cm, která má uvnitř plochu s plíškem. Po stisknutí tohoto plíšku vydává specifický zvuk – „klik“. Pro správné použití klikru je důležité

přesné načasování. Ve chvíli správného výběru stimulu by mělo zaznít kliknutí a následně je dávana před subjekt odměna.

Celý prostor je pod dohledem kamerového systému a umožňuje nám nahrávání celé procedury jednotlivých sezení. Jedna kamera je namířena na voliér, kde jsou testováni Attila s Puckem, druhá kamera snímá voliér s Vergiliem.

Nejdůležitějším objektem u tohoto experimentu jsou stimuly (viz kapitola Stimuly), které nám umožňují zkoumat relativní početnost, tedy schopnost vybírat větší nebo menší množství prvků ze dvou setů tvořící dva různé poměry.

3. 2. 3 Procedura

Experiment začíná ve chvíli, kdy se subjekt dostaví na požadované testovací místo. Poté se zavěsí aparatura na voliér, připraví se odměny, archy k zapsání výsledků, klikr a stimuly. Před subjekt se předložila dvojice či trojice stimulů tak, aby na ně nedosáhl. Vždy jsem dohlédla na to, aby si subjekt stimuly prohlédl a nebyl ničím jiným vyrušován. Po prohlédnutí stimulů (cca 3 vteřiny) jsem přisunula kostky blíž k voliére a subjektu tak, aby na ně opice dosáhla. Opice reagovala vždy okamžitě na přisunutí stimulů a pravou končetinou sáhla na jeden ze dvou stimulů. V případě správné volby jsem hned při sáhnutí na stimul klikla klikrem a položila odměnu na zavěšovací aparaturu. Odměna byla ve formě oblíbené potravin, tedy kousku ovoce či sladkých cereálií. Jestliže subjekt odpověděl poklepnutím na stimul se špatnou početností, nezaznělo kliknutí z klikru a subjekt nedostal žádnou odměnu. Po každém výběru určité početnosti jsem zapsala volbu do připraveného archu. Tento proces se opakoval 20krát v jeden den pro každého primáta. Celé testování pro jednoho primáta trvalo cca 30 min.

Jestliže byl subjekt příliš agresivní, což se stávalo u nejvýše postaveného samce Attily, experiment jsem přerušila, poslala Attilu na jeho místo do vedlejší voliéry a pokračovala v testování s jiným subjektem. Attila tím ztrácel možnost získat ten den odměnu a testování s ním se přeložilo na další den.

3. 2. 4 Stimuly

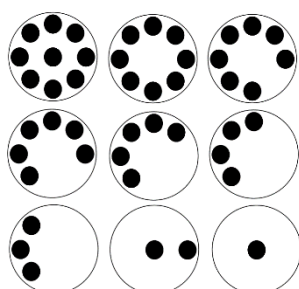
Stimul představuje dřevěnou kostku o rozměrech 5x5 cm, kde je na jedné straně nalepený zalaminovaný štítek ve tvaru kružnice s příslušným počtem graficky znázorněných

geometrických obrazců tzv. objektů od 1 do 9 (viz. obr. č.19). Stimuly byly předkládány ve dvojici (v 1. experimentální části), takže každá dvojice stimulů měla různou hodnotu poměru v rozsahu od 0,11 (tedy 1:9 objektů) do 0,88 (tedy 8:9 objektů) nebo byly opicím nabídnuty stimuly ve trojici (v 2. experimentální části). Všechny poměry, kde se opakovala stejná početnost (například 3:3 nebo 3:1:3) byly z experimentu vyloučeny.



Obr. č. 19. Ukázka předkládaných stimulů ze základní sady, kde stimuly představovaly početnost v poměru 6:9.

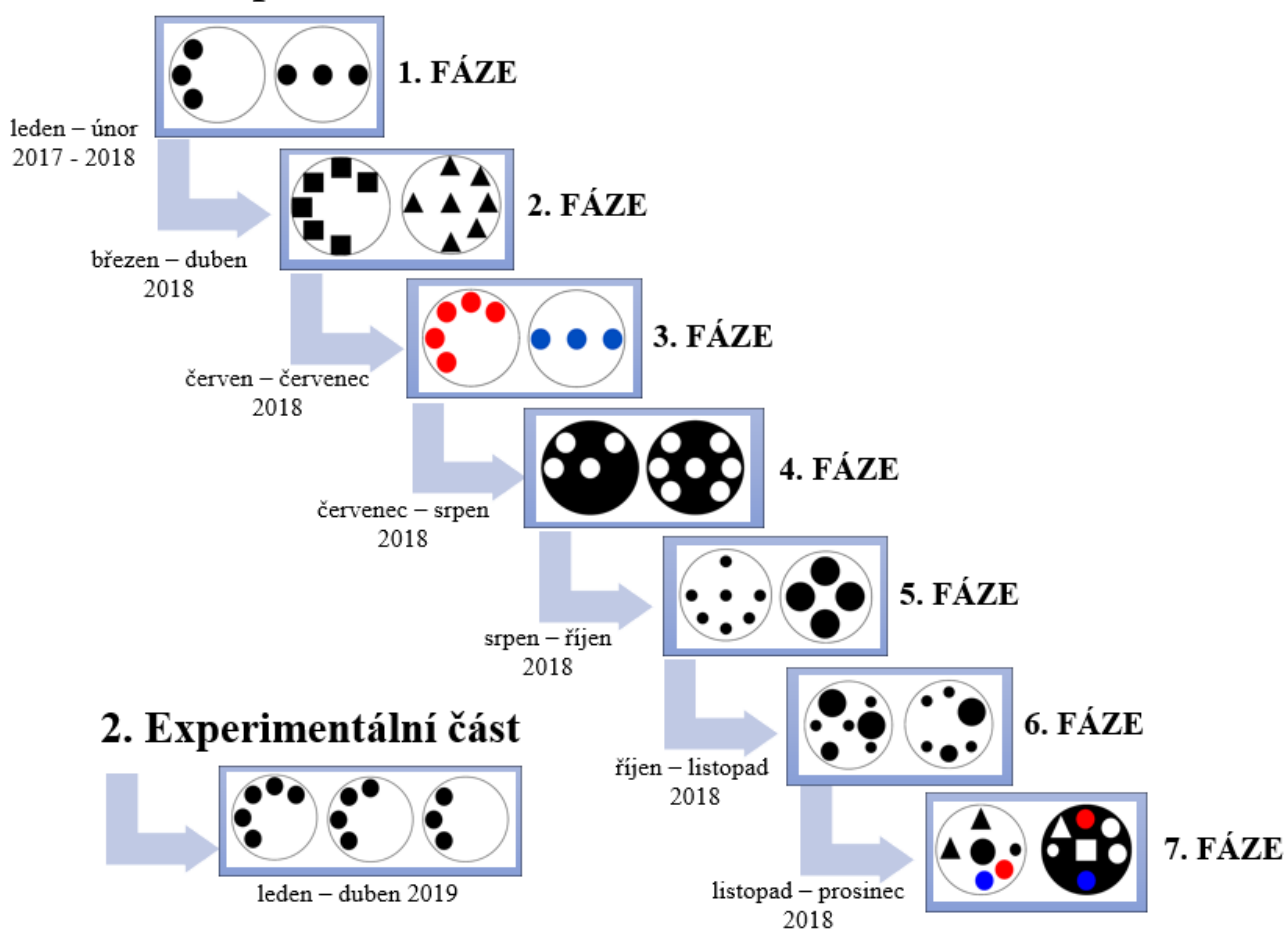
Stimuly byly subjektům prezentovány postupně v jednotlivých sadách. Každá sada obsahovala 9 stimulů stejného charakteru, ve kterém bylo obsaženo 1 až 9 objektů – například černé tečky na bílém pozadí. Tyto sady jsem po splnění několika sérií obměnila a subjekty pokračovaly v další fázi v testování relativní početnosti se zcela jiným a pro primáta novým typem stimulu. V jednotlivých fázích jsem měnila charakter stimulu a manipulovala jsem s jeho tvarem, barevností, velikostí a konfigurací. Každá fáze se skládala z několika sérií (7 až 25) a každá série obsahovala 20 opakování, které byly subjektům prezentovány v jeden den. Jednotlivé poměry byly randomizovány a zadány do archu. Větší či menší hodnota stimulu byla náhodně zvolena tak, aby subjekt neupřednostňoval jednu stranu, takže větší hodnota na jedné straně se opakovala pouze třikrát po sobě.



Obr. č. 20. Sada obsahující 9 stejných stimulů, na kterých je různý počet prvků – v tomto případě černých teček.

Celé testování probíhalo v období mezi 15.12.2017 – 13.4.2019. Během tohoto období musel být experiment v létě roku 2018 přerušen, kvůli zhoršenému zdravotnímu stavu všech tří subjektů. Tato zdravotní indispozice by mohla negativně ovlivnit výsledky testování, a proto jsem se rozhodla pozastavit experiment v období které trvalo 2 měsíce (17. 4 – 16. 6.2018), dokud nebyli primáti opět v dobré kondici. Stimuly jsem předkládala v daném pořadí: různé konfigurace teček, různé tvary, různé barvy, inverzní barvy, různé velikosti, různé velikosti v rámci jednoho stimulu, komplexní stimuly a tři stimuly vedle sebe.

1. Experimentální část



Obr. č. 21. Časová osa prezentace stimulů v jednotlivých fázích. Časová osa ukazuje jednotlivé fáze chronologicky tak, jak šly za sebou. Charakter stimulu jsem předkládala podle toho, jak jsem si myslela že bude obtížnost abstrakce jednotlivých stimulů stoupat od nejtěžší po nejtěžší fázi.

3. 2. 5 Behaviorální proces familiarizace stimulů

Před samotným testováním subjekty podstoupily intenzivní trénink na výběr požadovaného počtu. Attila s Puckem byli trénováni k výběru většího množství a Vergilius byl naopak naučen vybírat menší početnost. V úplných začátcích tohoto tréninku se nejdříve pokládala odměna ve formě sladkosti či kousku ovoce na kostku s požadovaným počtem prvků na stimulu, u Attily a Pucka představovala kostka s větší početností teček a u Vergilia menší početností teček. V této fázi se subjekty seznamovaly s novými objekty a při braní si odměn ze stimulu se naučily navýkat si na nepřírozený kontakt s cizím předmětem. Formou učení pokusem a omylem pochopily koncept úlohy a byly připraveny na samotné testování relativní početnosti. Tato procedura familiarizace předmětů trvala asi 2 měsíce.

3. 3 Statistická analýza dat

3. 3. 1 1. experimentální část

V každé fázi jsem sledovala závislost správné volby na absolutním rozdílu mezi dvěma sety a závislost správné volby na jednotlivých poměrech. V jednotlivých fázích jsem také porovnávala úspěšnost jednotlivých opic a dívala jsem se na průměrnou úspěšnost všech subjektů dohromady. Dále jsem chtěla zjistit, zda se bude celková úspěšnost v jednotlivých fázích lišit v rámci celého prvního experimentu a i v rámci každé série, při prezentaci zcela nových typů stimulů.

Statistická analýza dat a modelování probíhaly v programu R (R version 3.2.2, package version 3.1–121; Pinheiro, Bates, DebRoy, Sarkar, & R Core Team, 2015). Vysvětlovanou proměnnou byl úspěch („SPRAVNE“). Vysvětlujícími fixními faktory byly:

- subjekt („subjekt“) – tedy identita opice
- fáze („FAZE“) – tedy typ úlohy
- trial („TRIAL“) – tedy pořadí jednotlivých sezení tak, jak jdou v rámci jedné fáze za sebou
- poměr („POMER“) – tedy poměr číselných hodnot předložených stimulů
- rozdíl („ABS“) – tedy absolutní rozdíl číselných hodnot předložených stimulů

Faktor subjekt reflektuje individuální rozdíly mezi jednotlivými opicemi. Faktor fáze reflektuje obtížnost (nebo minimálně identitu) jednotlivých úloh. Faktor trial reflektuje to, že jednotlivé odpovědi na sobě nejsou nezávislé, jelikož se dá předpokládat, že opice se budou v rámci úlohy zlepšovat. Faktory poměr a rozdíl reflektují obtížnost konkrétní dvojice předložených stimulů.

Vysvětlovaná proměnná má binomické rozdělení, proto jsme v prvním kroku použili modely ze třídy GLM (generalizované lineární modely), na funkci glm.

Do prvního modelu (model 1) bylo zařazeno pět výše popsaných faktorů a dvě interakce mezi nimi, o kterých jsme a priori předpokládali, že by mohly být významné. Zprvce to byla interakce mezi poměrem a rozdílem, jelikož tento vztah by mohl být netriviální (nějakým ne zcela predikovatelným způsobem). Zadruhé to byla interakce mezi fází a trial, která by mohla vystihovat to, zda a jak rychle se subjekty v průběhu experimentu učily. Analýzou deviance tohoto modelu jsme zjistili, že všechny faktory byly signifikantní, interakce mezi nimi však nikoliv (viz Příloha 1). Druhý model (model 2) byl tedy redukcí

prvního, zredukovali jsme obě interakce. Srovnáním obou dvou modelů pomocí funkce analýzy rozptylu (anova) jsme zjistili, že mezi modely není významný rozdíl (viz Příloha 2), proto jsme zůstali u jednoduššího modelu 2. Tabulka deviancí modelu 2 viz Tabulka 1.

Náš první plný model 1 ovšem nezahrnoval všechny interakce, proto jsme v druhém kroku vytvořili model (model 3) zahrnující všech pět faktorů a všechny dvojité interakce mezi nimi (viz Příloha 3). Tři dvojité interakce byly v tomto modelu signifikantní. Byly to interakce mezi fází a subjektem, fází a poměrem, fází a rozdílem – všechny tři interakce se tedy týkaly faktoru fáze.

V tomto případě se jako řešení nabízí přístup, kdy bychom každou fázi analyzovali zvlášť. Takový přístup pak ovšem pochopitelně neumožňuje porovnání jednotlivých fází společně. Tento přístup považujeme za horší. Jelikož jsme do modelu 3 zařadili mnoho vysvětlujících faktorů, je možné, že interakce jsou důsledkem přeparametrizování tohoto modelu. Přístup, který byl založen na Akaikeho informačním kritériu (AIC), nevedl k potvrzení těchto interakcí (funkce lm). Přestože tento přístup není zcela korektní, jelikož uvažuje normální rozdělení vysvětlované proměnné, naznačuje, že model s interakcemi není robustní. Pokud penalizujeme složitost modelu, interakce jsou redukovány. (Tato analýza není součástí práce, protože byla pouze pomocná pro naši volbu konečného modelu.) V modelu 3 jsme ukázali, že při vyšetření všech dvojitých interakcí je většina z nich nevýznamná. Je naprosto samozřejmé, že složitější model vysvětlí vždycky více variability než model jednodušší (viz Příloha 4). Při použití modelu, který uvažuje jak množství vysvětlené variability, tak jeho složitost, jsou ale interakce redukovány. Zdá se nám tedy, že obvyklý redukční přístup zde není vhodný a že pět původních vysvětlujících faktorů jsou také jediné opravdu stabilní a robustní faktory.

Dosud jsme předpokládali, že data jsou na sobě nezávislá, čímž jsme možná nadhodnotili výsledky. V následujících modelech jsme se tedy pokusili ošetřit možnou závislost dat (tedy možnost, že jednotlivé volby na sobě nejsou nezávislé). Modely byly vytvořeny pomocí funkce geeglm z balíčku geepack. Model geeglm je analogický modelu glm, je zde ovšem ošetřena identita jedince – posuzování signifikance je zpřísněno o efekt korelace mezi volbami uvnitř jednotlivých jedinců. Dále model geeglm umožňuje vložit konkrétní korelační strukturu mezi jednotlivými volbami. Ve variantě 1 jsme použili korelační strukturu AR1, která předpokládá, že po sobě jdoucí volby jedinců jsou si významně podobnější (nebo významně nepodobnější) než volby od sebe vzdálené. Ve

variantě 2 nebyla korelační struktura specifikována a priori, funkce `geeglm` ovšem dosahuje asymptoticky kvalitního odhadu korelační struktury (Pekár a Brabec, 2012), korelační struktura byla tedy přímo odhadnuta algoritmem funkce.

Výsledné modely (model 4 a 5, viz Příloha 5, 6) se nápadně podobají tomu, které poskytla metoda `glm`, což dokládá, že omezená nezávislost dat zásadním způsobem neovlivnila výsledky statistické inference. Za konečný model tedy považuji model 2 a dále diskutuji už jen výsledky získané funkcí `glm`.

Z obecného pohledu na data jsme si všimli, že pro opice se zdá těžší určit správnou variantu, pokud jsou poměry mezi stimuly vyšší hodnoty, než pokud jsou mezi stimuly hodnoty nižší, a to přestože v obou případech je mezi hodnotami rozdíl jedna. Jinak řečeno se zdá, že pro opice je těžší poznat správnou variantu při předložení dvojic 7:8 nebo 8:9 než při předložení dvojic 1:2 nebo 2:3. Tento jev jsme se rozhodli dále prozkoumat, a proto jsme sestavili následující tabulku (Tabulka 2).

V tabulce č. 2 jsou různá vyjádření úspěšnosti, pokud je rozdíl hodnot předkládaných stimulů 1 a jejich součet 3, 5, 7, 9 a 11 a více (sloupec 1). Sloupec 2 – počet správných odpovědí, sloupec 3 – počet chybných odpovědí, sloupec 4 – celkem odpovědí, sloupec 5 – procentuální úspěšnost (počítáno jako sloupec 2 děleno sloupec 4), sloupec 6 – odds ratio (počítáno jako sloupec 2 děleno sloupec 3).

součet hodnot stimulů	správně	chybně	celkem	% úspěchu	odds ratio
3	84	36	120	70,00	2,33
5	106	35	141	75,18	3,03
7	99	42	141	70,21	2,36
9	92	49	141	65,25	1,88
11 a více	312	168	480	65,00	1,86

Tabulka č. 2 Vyjádření úspěšnosti v jednotlivých rozdílech

Abychom zjistili, zda volby opic odpovídají náhodě (tedy 50% šance, že vybere správně, a 50% šance, že vybere špatně), použili jsme jednoduchý chí kvadrát χ^2 test. Pro každou dvojici stimulů (v Tabulce 2 reprezentovanou prvním sloupcem – součet hodnot stimulů) jsme srovnali počet správných a chybných odpovědí se zadanou pravděpodobností 0,5 a 0,5. Pro všechny dvojice vyšel počet správných (a chybných) odpovědí rozdílný od

náhodny s vysokou signifikací $p < 0,001$ (viz Příloha 7). Je tedy zřejmé, že opice nevolily náhodně v žádném z vyšetřených případů.

Stejně jako v předchozí části data byla zpracována pomocí statistického programu R, kde jsme využili model analýzy deviance podle třídy `geeglm` s binomickým rozdělením. Využili jsme model `mm2=geeglm`, které obsahují jen faktory bez interakce. Vysvětlovanou proměnnou byl opět úspěch („spravne“), vysvětlujícími faktory byl opět absolutní rozdíl („roz“) a poměr („pomer“). Použili jsme funkci `geeglm`, který zcela stejně jako v předchozí části zohlednil identitu jedince a korelaci mezi po sobě následujícími volbami uvnitř jedinců (korelační struktura AR1). Výsledkem je model 6. koeficienty pro tento model viz Příloha 8.

3.3.2 2. experimentální část

Abychom zjistili, zda volby opic odpovídají náhodě (tedy při úspěšnosti 33 %) hned v první prezentaci tří stimulu (tedy Fáze 1), použili jsme jednoduchý chí kvadrát χ^2 test. Jelikož Puck dosahoval ve Fázi 1 nejnižší hodnoty, využili jsme tento test pouze pro tento subjekt (Puck v celé 1. fázi měl 46 správných odpovědí a 29 špatných odpovědí, tedy 53 %).

```
> chisq.test(c(46,29), p=c(1,2), rescale.p=TRUE)
```

Chi-squared test for given probabilities

data: c(46, 29)

X-squared = 26.46, df = 1, p-value = 2.691e-07

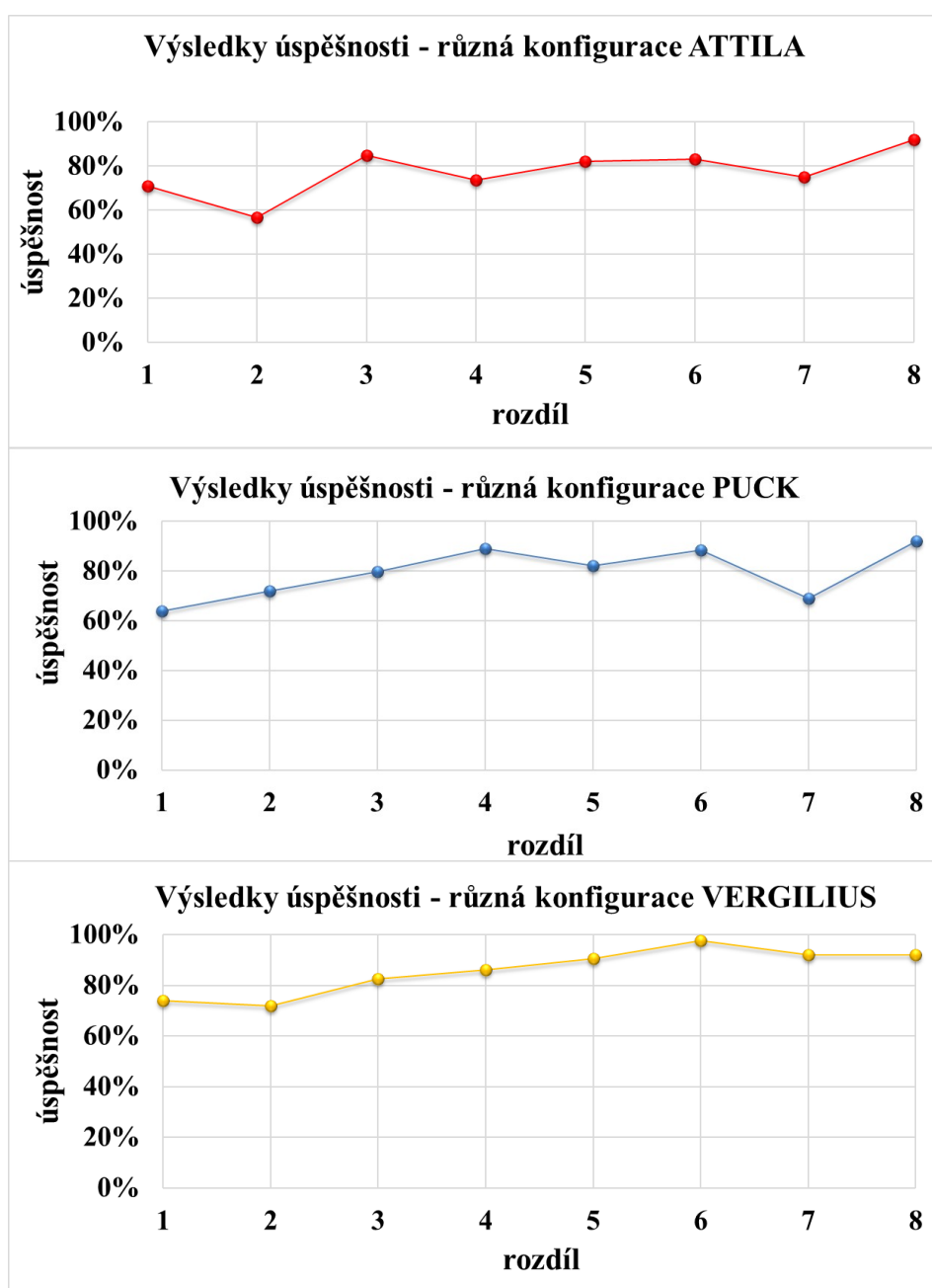
3. 4 1. Experimentální část – relativní početnost se dvěma stimuly

První část experimentu (Experiment I) se skládá ze 7 navazujících fází. V každé fázi jsem subjektům předkládala vždy dvojici stimulů stejného charakteru. Opice si tedy vybírala mezi dvěma stimuly, kde měly za úkol vybrat správnou hodnotu, respektive stimul s větší či menší hodnotou. Attila s Puckem vybírali z dané dvojice větší hodnotu a Verigilius vybíral hodnotu menší. Hodnota stimulu se pohybovala od 1 do 9 prvků a subjektům jsem je předkládala v 36 různých poměrech zahrnujících všechny možné kombinace, kromě stejných hodnot. Tyto poměry byly předkládány v pseudonáhodném pořadí a v pseudonáhodném pravolevém rozmístění na stimulu (5:3 nebo 3:5). Každý subjekt 1772krát mezi dvěma stimuly v rámci celého prvního testování.

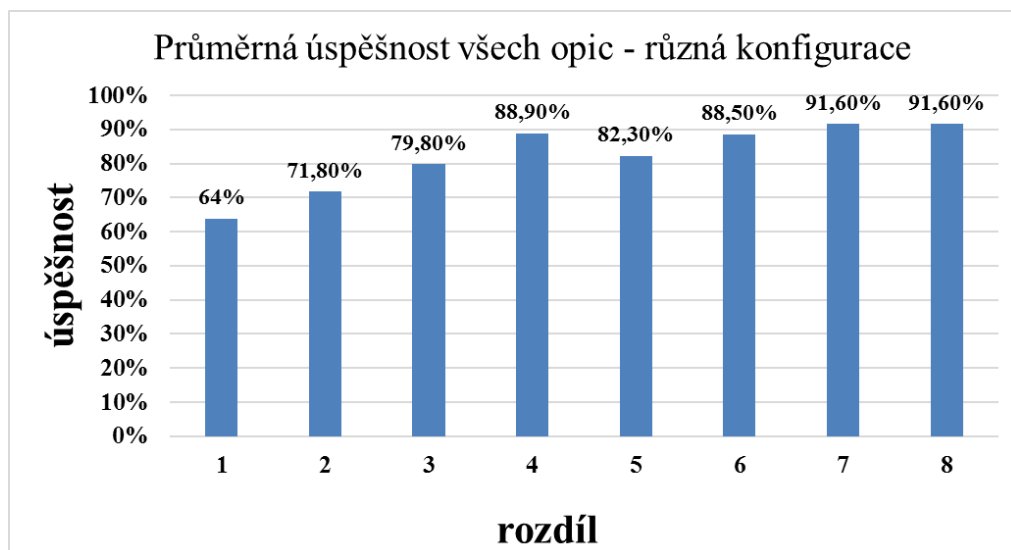
V první fázi byly stimuly předkládány s tečkami v různých konfiguracích, ve druhé fázi byly místo teček použité jiné tvary, ve třetí fázi byly změněné barvy teček, ve čtvrté byla zaměněna barva pozadí a stimulů, v páté fázi se měnila velikost teček mezi různými stimuly, v šesté fázi se velikosti teček lišily v rámci jednoho stimulu a v poslední fázi se všechny zmíněné parametry stimulů objevily v rámci jednoho.

3. 4. 1 Fáze 1. Různá konfigurace

V rámci tohoto testování jsem použila 4 různé sady stimulů – sada A, sada B, sada C a sada D, kde každá sada obsahovala vždy 9 stimulů s tečkami od 1 po 9. V každé sadě se tečky lišily ve své konfiguraci (obr. č. 22). Všechny stimuly ze sad jsem pomocí excelové funkce náhodně dala dohromady tak, aby byl stimul při každé volbě z jiné sady (např. AxB, AxD atd.). Opice tak měla při volbě stimulu tečky pokaždé na jiném místě a nemohlo tak dojít k tomu, že by si hodnotu stimulu pamatovala jen podle konfigurace teček. Tento experiment se skládal z 22 sérií. Každá série obsahovala 20 opakování/voleb pro každého primáta. V této fázi to činilo 432 opakování pro každou opici.

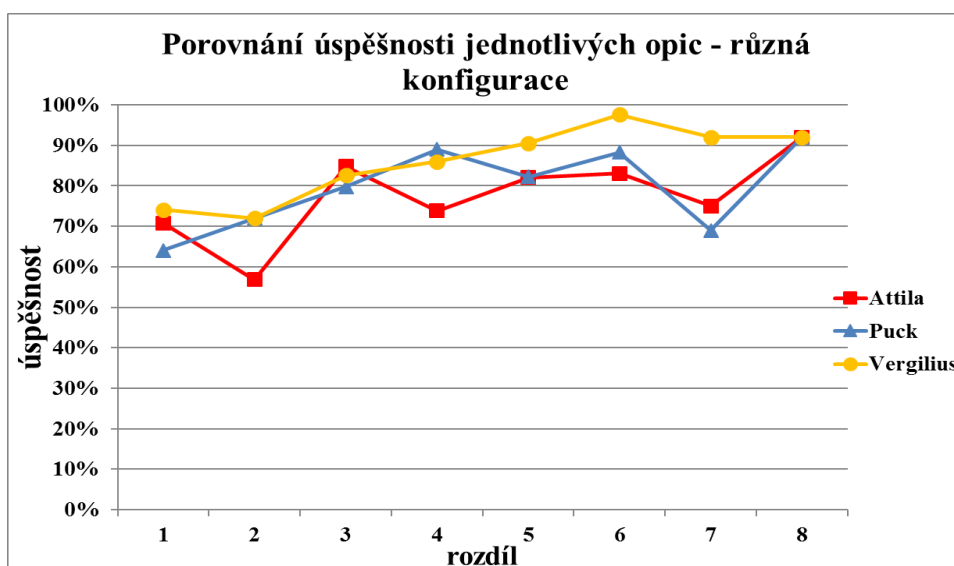


Graf. č. 1. **Úspěšnost jednotlivých subjektů v 1. fázi prvního experimentu – různé konfigurace teček.** Na ose x je znázorněn rozdíl mezi jednotlivými prvky (tedy při volbě prvků se dvěma a čtyřmi tečkami je výsledný rozdíl 2). Na ose y je znázorněna procentuální úspěšnost.



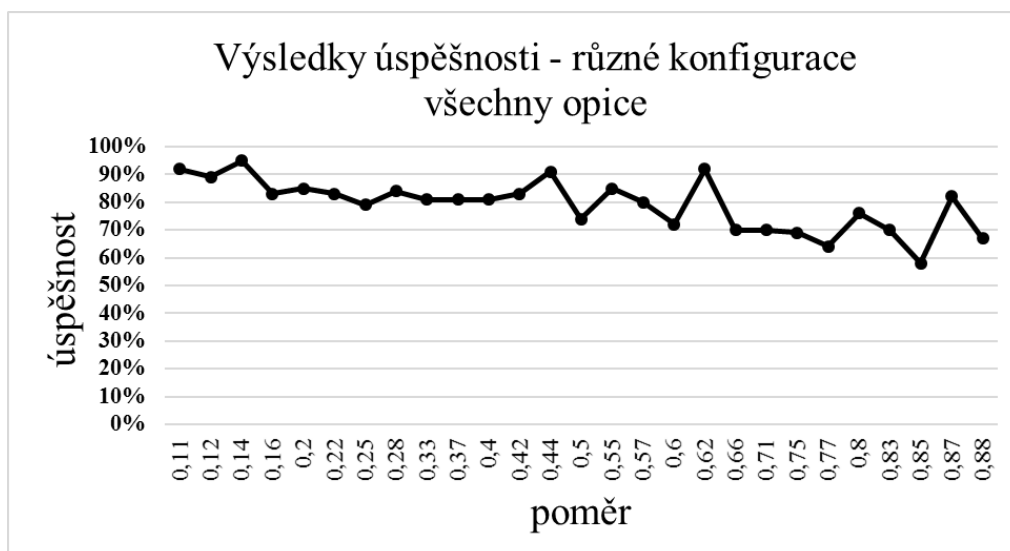
Graf. č. 2. **Úspěšnost všech subjektů v 1. fázi prvního experimentu – různé konfigurace teček.** Na ose x je znázorněn rozdíl mezi dvěma hodnotami volby a na ose y je ukázána procentuální úspěšnost všech subjektů dohromady pro první fázi s různými konfiguracemi teček.

Tyto výsledky ukazují procentuální úspěšnost voleb jak pro jednotlivé subjekty (graf č. 1), tak pro všechny opice dohromady (graf č. 2) v jednotlivých rozdílech mezi dvěma předkládanými sety.



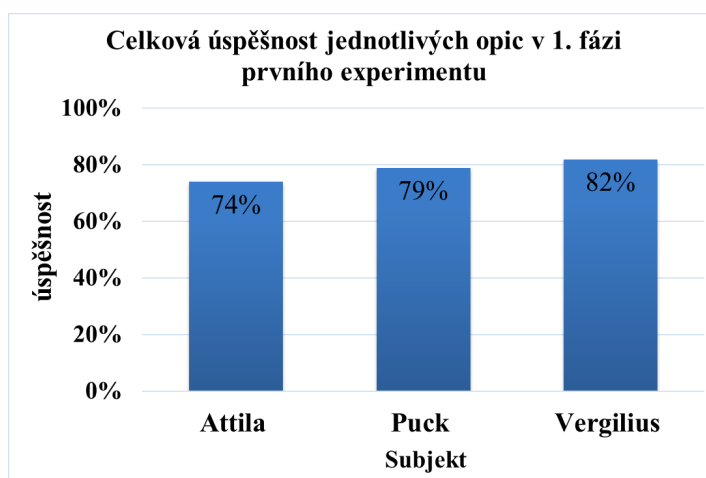
Graf. č. 3. **Porovnání úspěšnosti jednotlivých opic v 1. fázi prvního experimentu.** Na ose x je znázorněn rozdíl mezi dvěma hodnotami a na ose y je ukázána procentuální úspěšnost všech subjektů dohromady pro první fázi s různými konfiguracemi teček.

Výsledky ukazují (graf č. 1 a č. 3), že Attila měl nejhorší úspěšnost u rozdílu 2, kde měl 58 % úspěšnost, naopak největší úspěšnost byla při rozdílu 8, kde dosáhl 92 % úspěšnosti. Puck byl nejhorší v rozdílu 1 a (64 %) a nejlepší v rozdíle 8 (92 %), což je očekávatelný výsledek, ale došlo u něho k většímu poklesu úspěšnosti v rozdílu 7 (69 %), který poklesl o celých 8 % u těžšího rozdílu 6 (88,30 %). Vergilius měl stejně jako Attila nejhorší úspěšnost u rozdílu 2 (72 %), a nejlepší úspěšnost u rozdílu 6 (98 %).



Graf. č. 4. **Výsledky úspěšnosti všech opic v jednotlivých poměrech.** Na ose x je znázorněn poměr mezi dvěma hodnotami a na ose y je ukázána procentuální úspěšnost všech subjektů dohromady pro první fázi s různými konfiguracemi teček.

Výsledky úspěšnosti v jednotlivých poměrech (graf č. 4) ukazuje, že čím je menší hodnota poměru, tím by měla být větší úspěšnost.

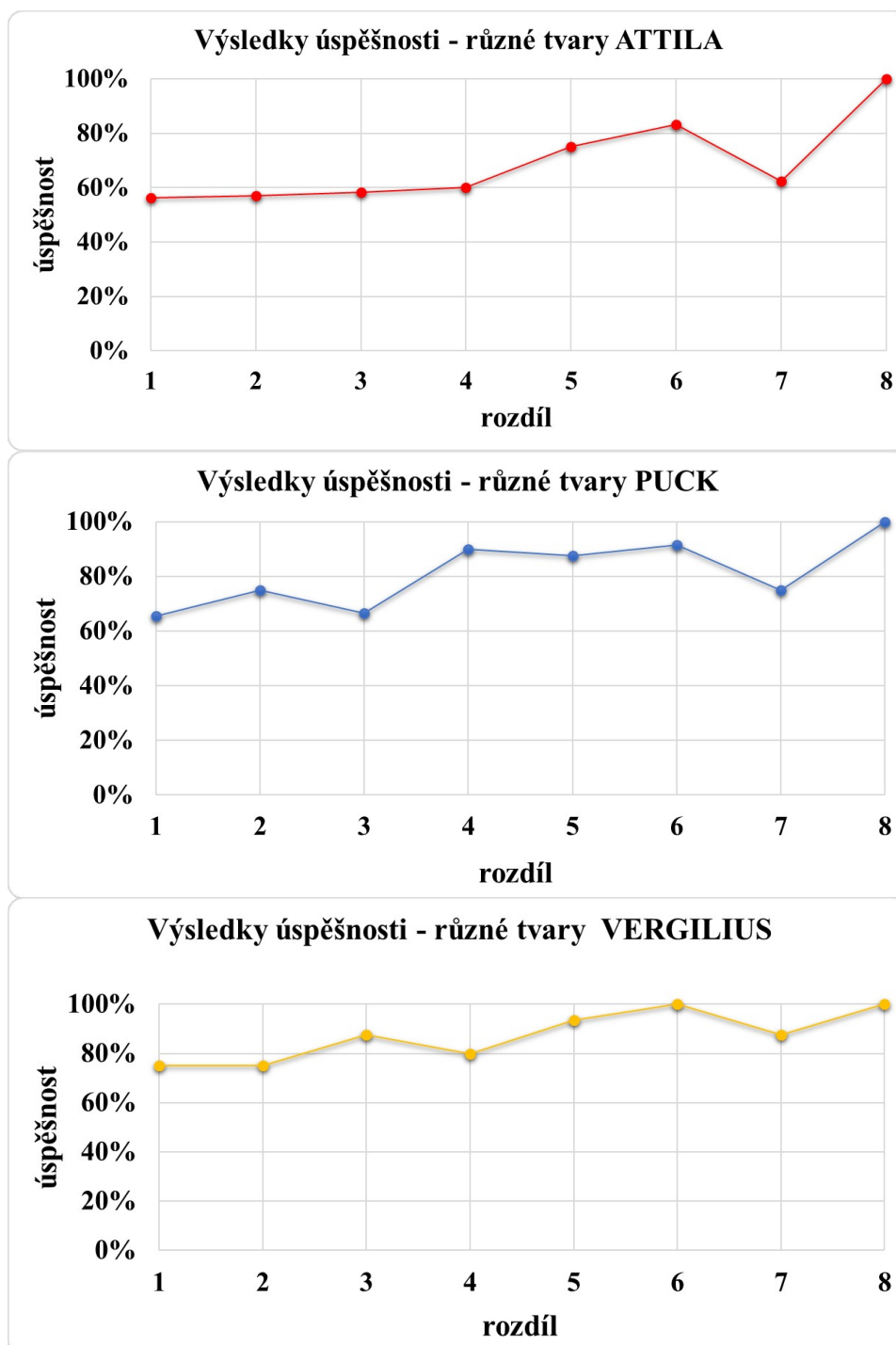


Graf. č. 5. **Celková úspěšnost jednotlivých subjektů v rámci 1. fáze prvního experimentu.** Na ose y je znázorněna procentuální úspěšnost a na ose x daný subjekt.

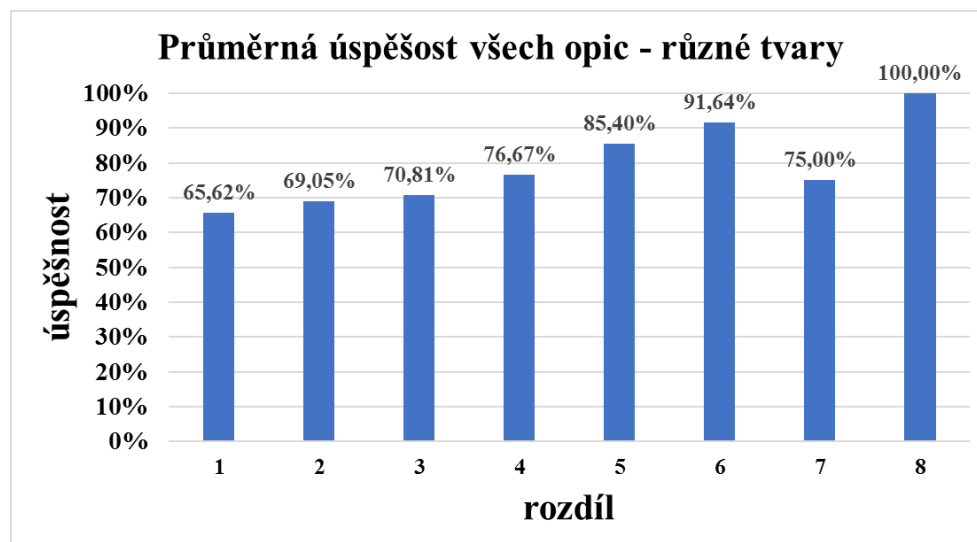
V závislosti na poměru a absolutním rozdílu se všechny subjekty od sebe svou úspěšností v první fázi experimentu lišily. Attila měl v této fázi nejhorší celkovou úspěšnost (74 %) a naopak Vergillius byl v této fázi nejúspěšnější (82 %), Puck měl výsledky o něco horší, než Vergilius, ale lepší než Attila (82 %).

3. 4. 2 Fáze 2. Různé tvary stimulů

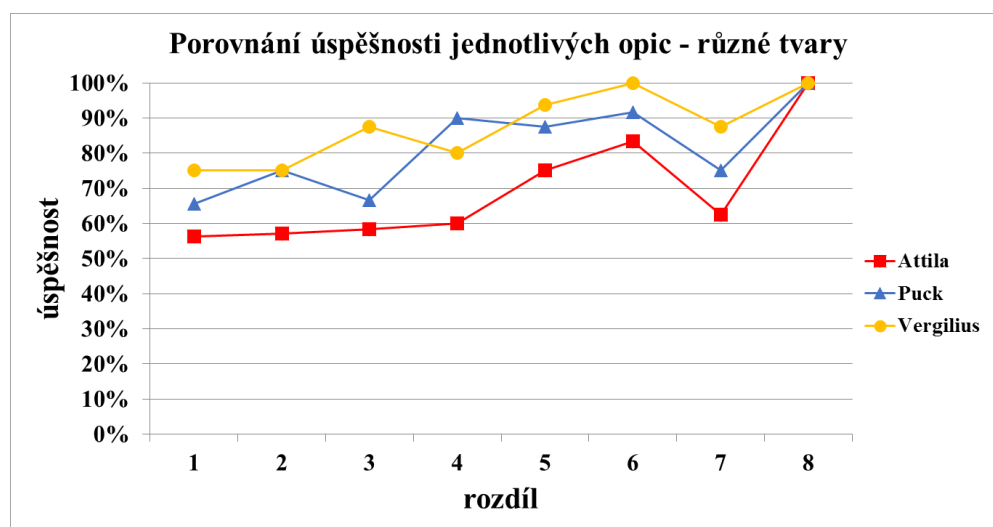
Tato fáze se skládala ze 7 sérií a každý primát dostal 144 voleb. Místo teček byly použity jiné tvary (např. trojúhelníky či čtverce, viz obr. č. 21). V této fázi jsem měla dvě sady stimulů. Sadu s trojúhelníky (sada A) a sadu se čtverci (sada B), které jsem subjektům předkládala v náhodných kombinacích (AxB, BxA).



Graf. č. 6. Úspěšnost jednotlivých subjektů v 2. fázi prvního experimentu – různé tvary. Na ose x je znázorněn rozdíl mezi jednotlivými prvky. Na ose y je znázorněna procentuální úspěšnost.



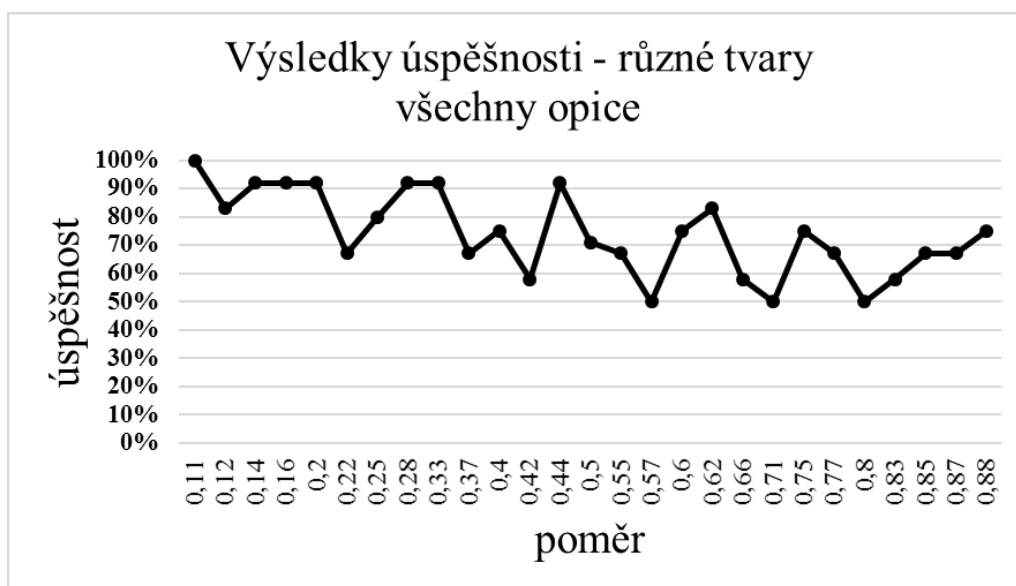
Graf. č. 7. **Úspěšnost všech subjektů v 2. fázi prvního experimentu – různé tvary.** Na ose x je znázorněn rozdíl mezi dvěma hodnotami a na ose y je ukázána procentuální úspěšnost všech subjektů dohromady pro druhou fázi se čtverci a trojúhelníky.



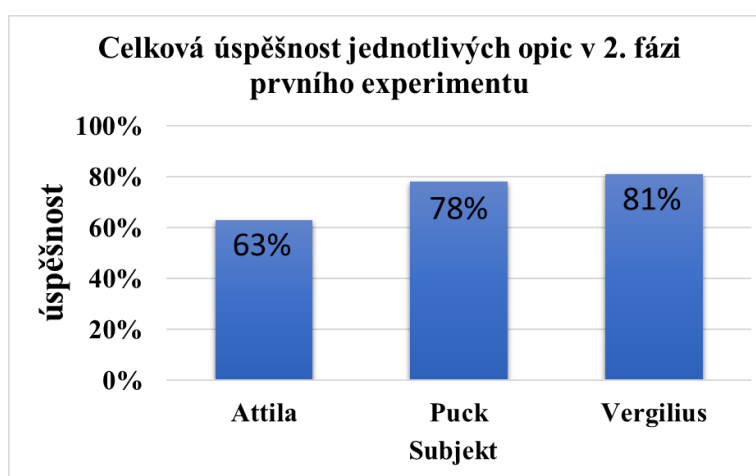
Graf. č. 8. **Porovnání úspěšnosti jednotlivých opic v 2. fázi prvního experimentu.** Na ose x je znázorněn rozdíl mezi dvěma hodnotami a na ose y je ukázána procentuální úspěšnost všech subjektů dohromady pro druhou fázi s různými tvary prvků.

Podle výsledků (graf č. 6 a č. 8) měl Attila nízkou úspěšnost pod 60 % u rozdílu 1 (56,25 %), 2 (57,14 %), 3 (58,33 %) a 4 (60 %). Od rozdílu 5 se úspěšnosti zvýšila, ale u rozdílu 7 opět poklesla úspěšnost. Puck měl v této fázi poměrně kolísavé výsledky (graf č. 6 a č. 8), kdy u něho došlo ke dvěma poklesům úspěšnosti – rozdíl 3 (66,66 %) a rozdíl 7 (75 %). Výsledky Vergilia (graf č. 6 a č. 8) jsou nejméně kolísavá a odpovídá Weberovému zákonu. U tohoto subjektu došlo k poklesu úspěšnosti u rozdílu 4 (80 %) a 7 (87,5 %).

Všichni samci (graf č. 6 a č. 7) v této fázi dosáhli stoprocentní úspěšnosti u nejlehčího z rozdílů, tedy u rozdílu 8.



Graf. č. 9. **Výsledky úspěšnosti všech opic v jednotlivých poměrech.** Na ose x je znázorněn poměr mezi dvěma hodnotami a na ose y je ukázána procentuální úspěšnost všech subjektů dohromady pro druhou fázi s různými tvary – se čtverci a trojúhelníky.

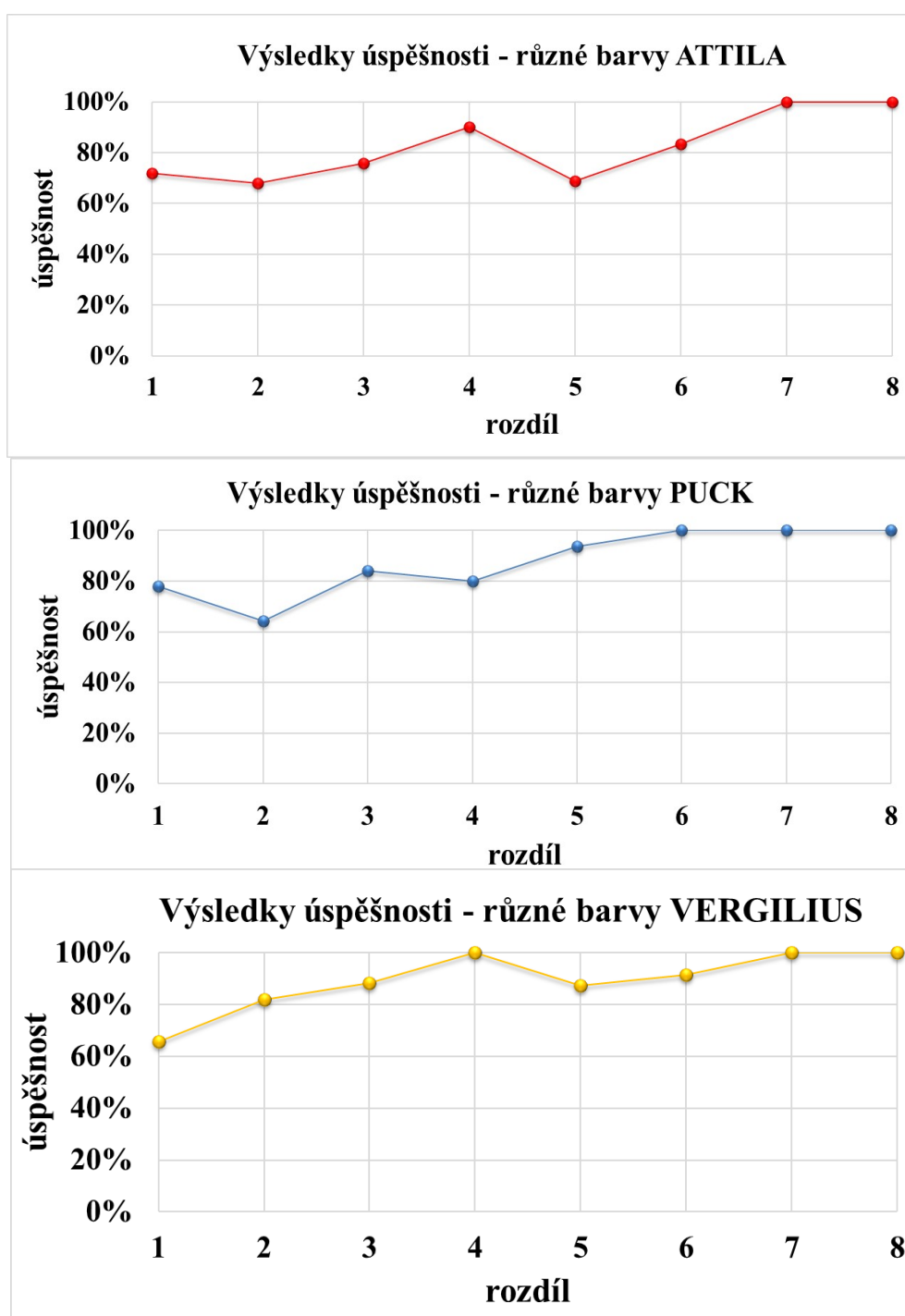


Graf. č. 10. **Celková úspěšnost jednotlivých subjektů v rámci 2. fáze prvního experimentu.** Na ose y je znázorněna procentuální úspěšnost a na ose x daný subjekt.

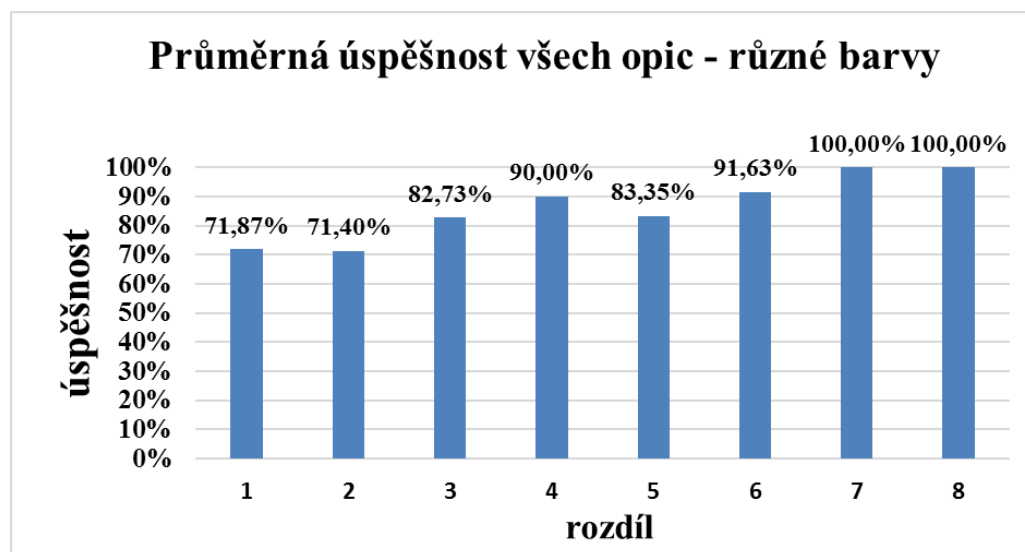
Celková úspěšnost jednotlivých opic ve 2. fázi experimentu (graf. č. 10) ukazuje, že Attila měl nejhorší celkovou úspěšnost (63 %), Puck měl úspěšnost vyšší než Attila (78 %) a Vergilius měl nejlepší celkovou úspěšnost (81 %).

3. 4. 3 Fáze 3. Různé barvy

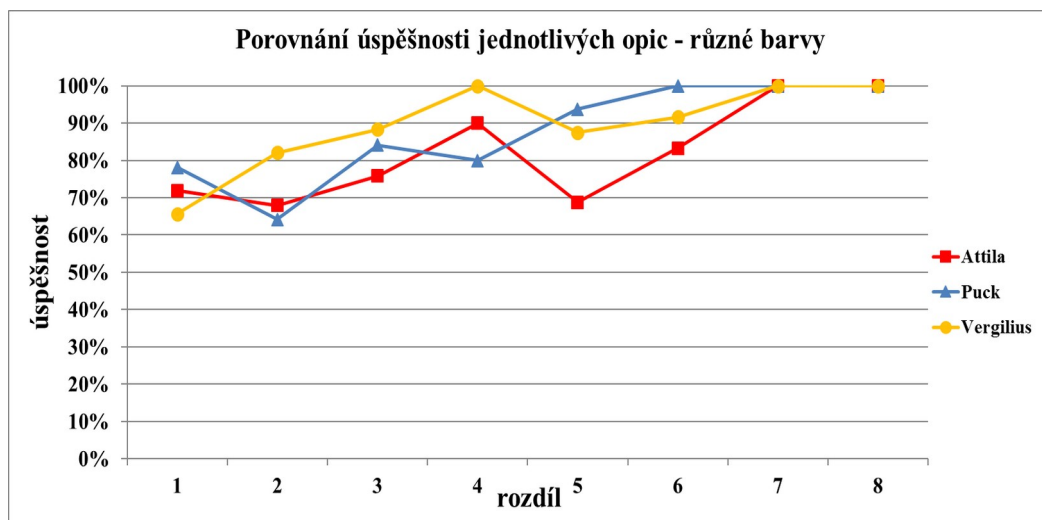
V této fázi měly tečky nikoliv černou, ale červenou či modrou barvu. Opět jsem měla dvě sady stimulů. Sada A obsahovala stimuly s červenými tečkami a sada B obsahovala stimuly s tečkami modrými. Obě sady jsem náhodě kombinovala a předkládala subjektům v náhodném pořadí. Celkem bylo v této fázi 7 sérií a dvojici stimulů jsem každému ze subjektů předložila 144krát.



Graf. č. 12. **Úspěšnost jednotlivých subjektů ve 3. fázi prvního experimentu – různé barvy.** Na ose x je znázorněn rozdíl mezi jednotlivými prvky. Na ose y je znázorněna procentuální úspěšnost.



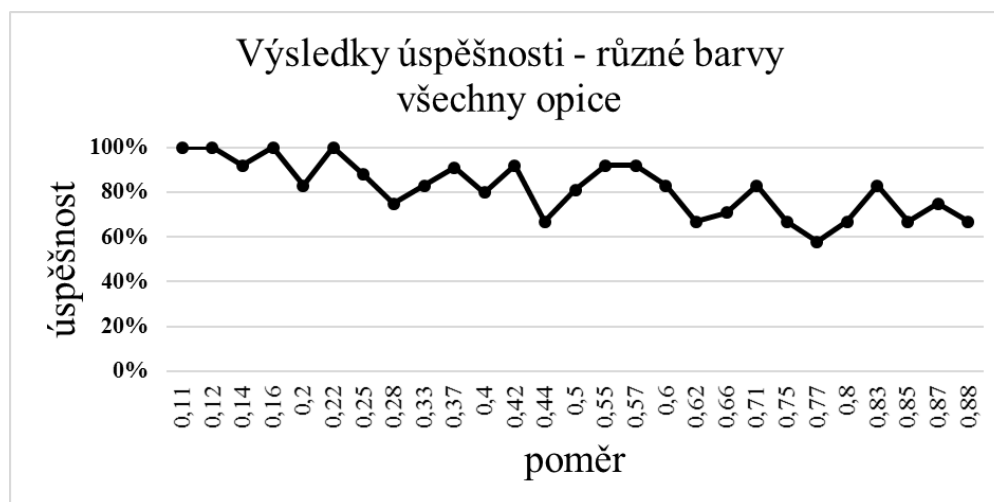
Graf. č. 13. **Úspěšnost všech subjektů ve 3. fázi prvního experimentu – různé barvy.** Na ose x je znázorněn rozdíl mezi dvěma hodnotami a na ose y je ukázána procentuální úspěšnost všech subjektů dohromady pro třetí fázi s červenými a modrými tečkami.



Graf. č. 14. **Porovnání úspěšnosti jednotlivých opic v 3. fázi prvního experimentu.** Na ose x je znázorněn rozdíl mezi dvěma hodnotami a na ose y je ukázána procentuální úspěšnost všech subjektů dohromady pro třetí fázi s různými barvami stimulů.

Výsledky této fáze u Attily (graf č. 12 a č. 14) ukazují zvyšující se úspěšnost s postupným růstem hodnoty rozdílu. Také měl propad u rozdílu 5 (68,8 %), který se lišil od rozdílu 4 (90 %) o 22 %. Puck (graf č. 12 a č. 14) měl stejně jako Attila lepší úspěšnost u rozdílu 1 (78 %), než u rozdílu 2 (64 %), což neodpovídá Weberovu zákonu. Vergilius měl úspěšnost vyšší než 80 % od rozdílu hodnot 2.

Výsledky všech samců (graf č. 13 a č. 14) ukazují stoprocentní úspěšnost u rozdílu 7 a 8., tedy pro subjekty nejsnazší rozhodování u jednotlivých voleb. U Attily i u Vergilia došlo ke snížení úspěšnosti při volbě stimulů s rozdílem 5 (viz graf č. 13).



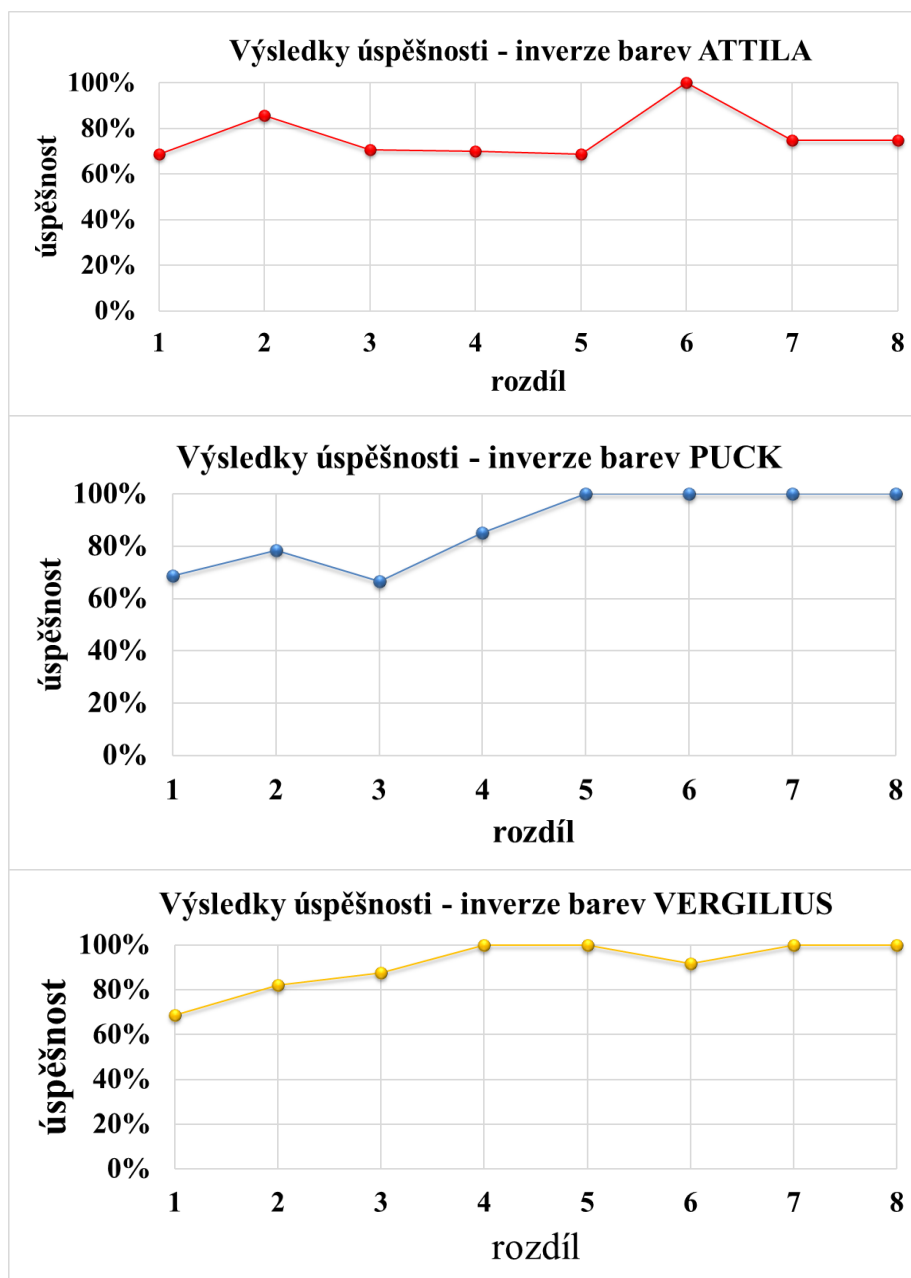
Graf. č. 15. **Výsledky úspěšnosti všech opic v jednotlivých poměrech.** Na ose x je znázorněn poměr mezi dvěma hodnotami a na ose y je ukázána procentuální úspěšnost všech subjektů dohromady pro třetí fázi s různými barvami teček.



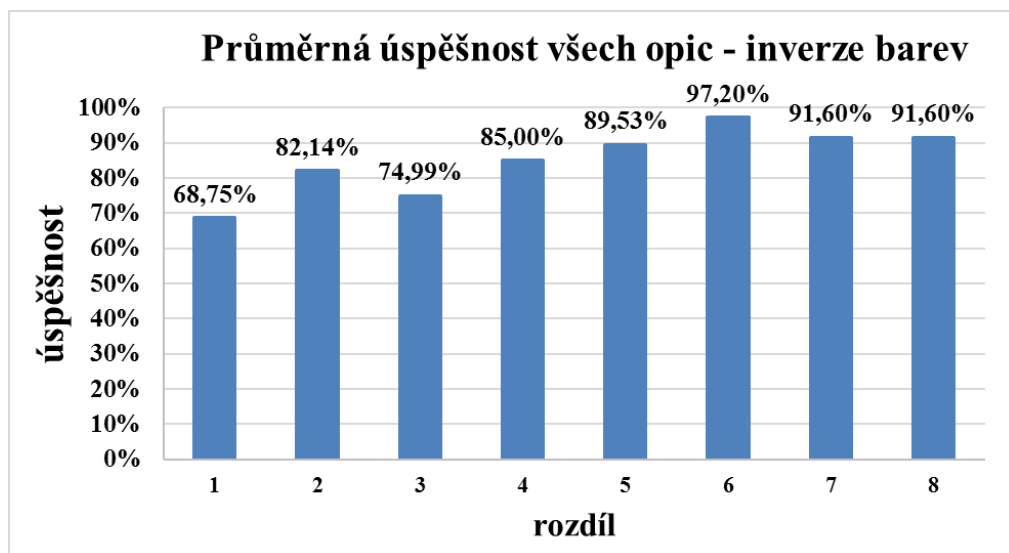
Graf. č. 16. **Celková úspěšnost jednotlivých subjektů v rámci 3. fáze prvního experimentu.** Na ose y je znázorněna procentuální úspěšnost a na ose x daný subjekt.

3. 4. 4 Fáze 4. Inverzní barvy teček

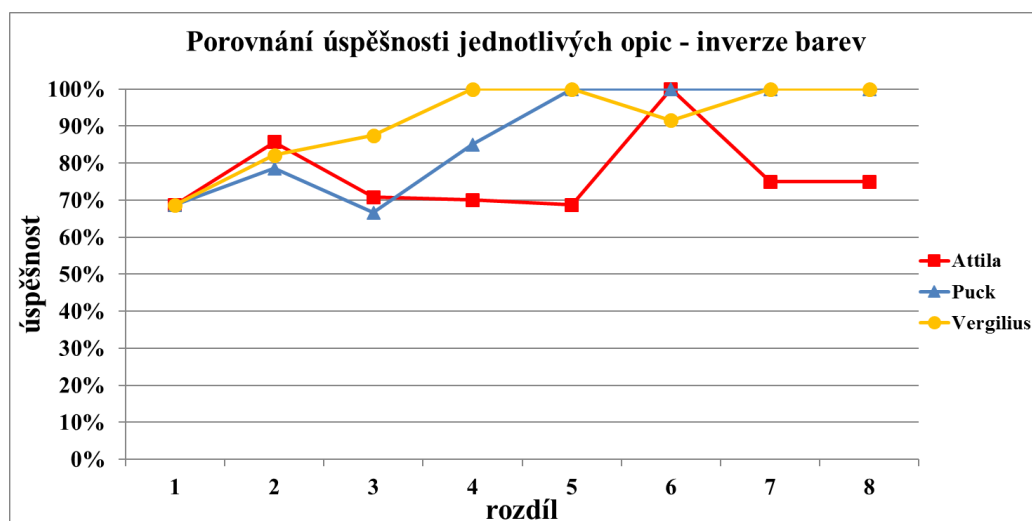
Ve čtvrté fázi byl změněn kontrast stimulů – byly zobrazovány bílé tečky na černém pozadí. Stimuly jsem měla ve dvou sadách a v každé sadě byly stimuly s tečkami v jiné konfiguraci. Tyto sady jsem primátů náhodně předkládala dohromady (AxB, BxA). Tato fáze obsahovala 7 sérií se 144 volbami pro každého primáta.



Graf. č. 17. Úspěšnost jednotlivých subjektů ve 4. fázi prvního experimentu – inverze barvy. Na ose x je znázorněn rozdíl mezi jednotlivými prvky. Na ose y je znázorněna procentuální úspěšnost.



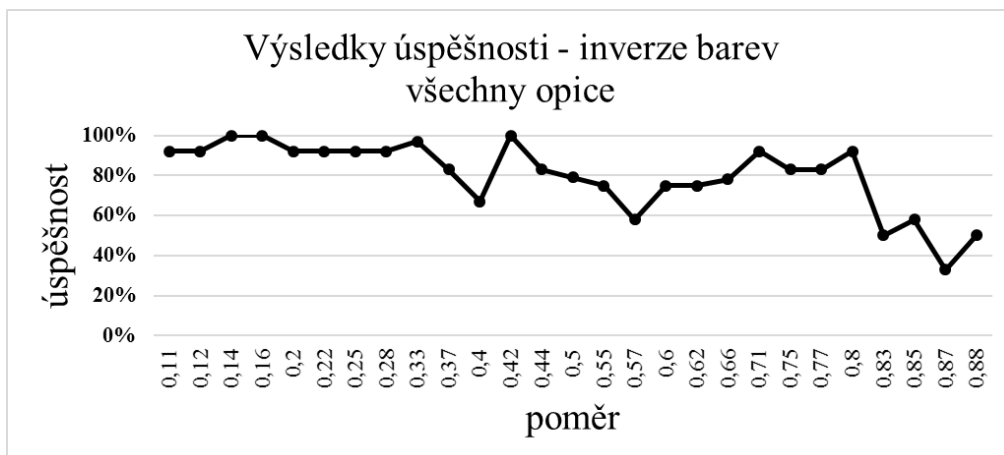
Graf. č. 18. **Úspěšnost všech subjektů ve 4. fázi prvního experimentu – inverze barev.** Na ose x je znázorněn rozdíl mezi dvěma hodnotami a na ose y je ukázána procentuální úspěšnost všech subjektů dohromady pro čtvrtou fázi s inverzní barvou teček.



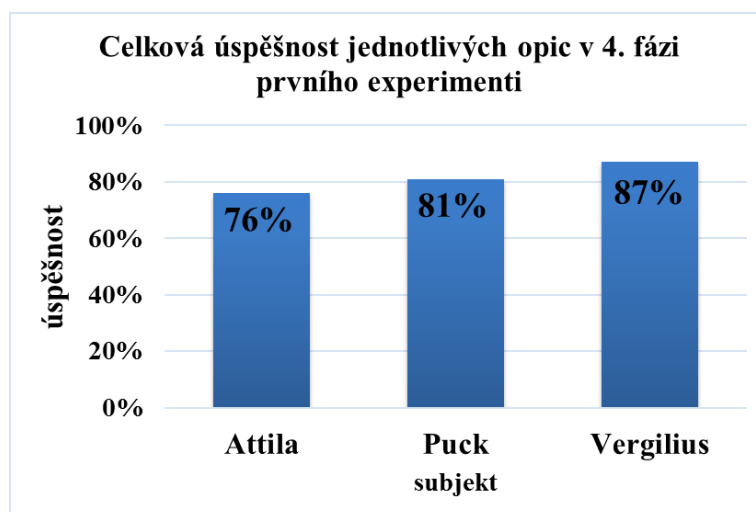
Graf. č. 19. **Porovnání úspěšnosti jednotlivých opic ve 4. fázi prvního experimentu.** Na ose x je znázorněn rozdíl mezi dvěma hodnotami a na ose y je ukázána procentuální úspěšnost všech subjektů dohromady pro čtvrtou fázi s inverzní barvou stimulů.

V této fázi byl opět nejúspěšnější Vergilius (graf č. 21 a č. 17) s celkovou úspěšností 87 %. Už od rozdílu 2 měl více jak 80 % úspěšnost a největší problém mu dělal volit mezi stimuly s rozdílem 1 (59, 10 %). V rozdílu mezi dvěma hodnotami od 4 do 8 měl 100 % úspěšnost, vyjímaje rozdíl 6, kde mu nepatrně klesla úspěšnost na 91,60 %. Attila má

výsledky poměrně kolísavé (graf č. 17 a č. 19). Puck u rozdílu 5, 6, 7 a 8 nechyboval v žádné volbě a dosahoval 100 % úspěšnosti.



Graf. č. 20. **Výsledky úspěšnosti všech opic v jednotlivých poměrech.** Na ose x je znázorněn poměr mezi dvěma hodnotami a na ose y je ukázána procentuální úspěšnost všech subjektů dohromady pro čtvrtou fázi s inverzí barev stimulu

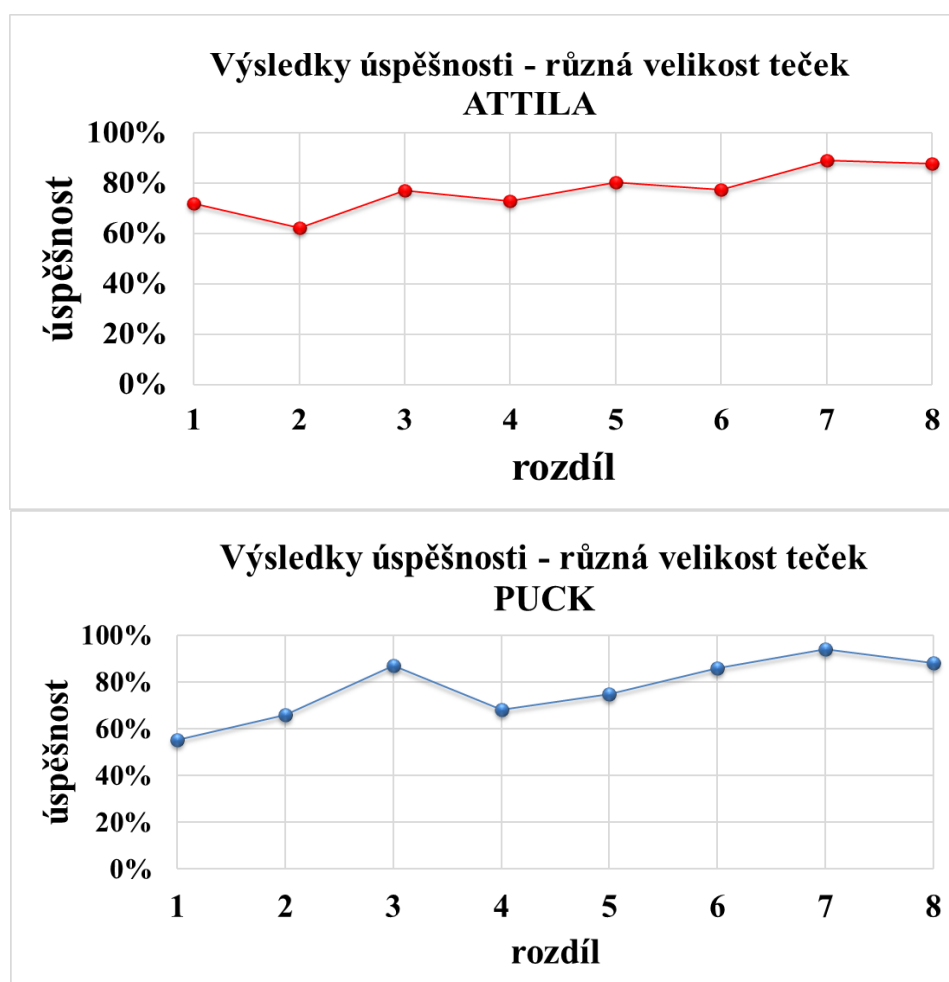


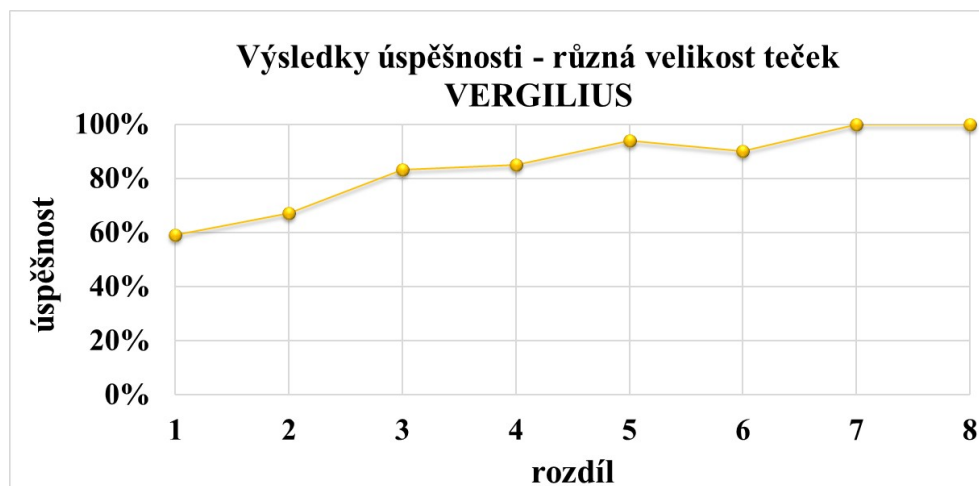
Graf. č. 21. **Celková úspěšnost jednotlivých subjektů v rámci 4. fáze prvního experimentu.** Na ose y je znázorněna procentuální úspěšnost a na ose x daný subjekt.

Attila měl nejhorší celkovou úspěšnost (76 %) (graf č. 21), Puck byl v rámci této fáze opět druhým nejlepším subjektem s celkovou úspěšností 81 %. Vergilius dosahoval nejlepších výsledků a to 87 %.

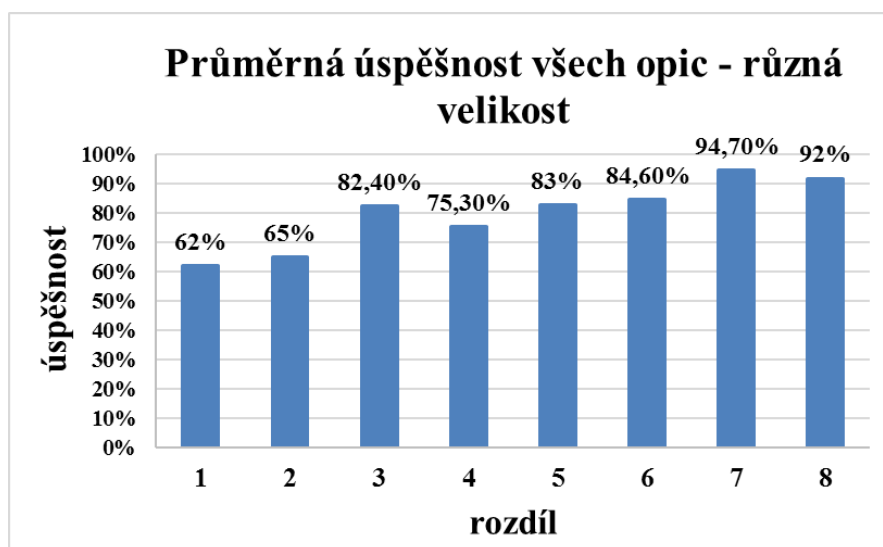
3. 4. 5 Fáze 5. Různé velikosti teček mezi stimuly

V této fázi se lišily velikosti teček u jednotlivých stimulů, v rámci jednoho stimulu ale zůstává velikost teček stejná. Sada A obsahovala 9 stimulů s tečkami menší velikosti, než byly tečky standardní. Sada B obsahovala tečky standardní ze základní sady, takže jejich velikost byla pro primáty zcela známá. Sada C obsahovala pouze 5 stimulů s tečkami většími, než bylo v sadě B (více jak 5 teček by se díky jejich velikosti na stimul nevešlo). Opět jsem primátům tyto sady náhodně předkládala tak, aby byl každý stimul z jiné sady (AxB, BxC, AxC i BxA, CxB, CxA). V některých případech mohla celková plocha stimulu negativně korelovat s celkovým množstvím teček na pozadí (např. 3 velké tečky zabíraly větší plochu, než 5 malých). V této fázi bylo celkem 14 sérií a primáti volili mezi dvojicí stimulů celkem 290krát.

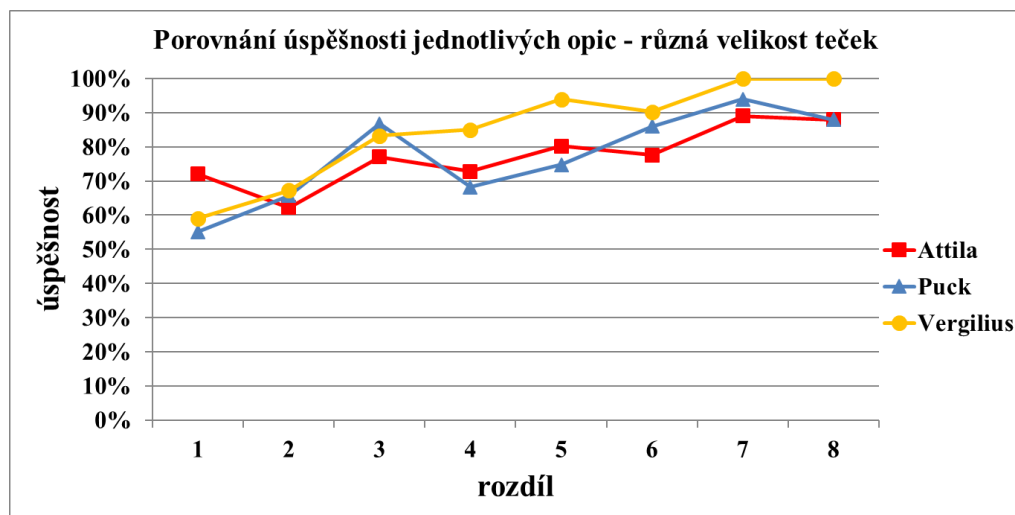




Graf. č. 22. Úspěšnost jednotlivých subjektů v 5. fázi prvního experimentu – různá velikost teček. Na ose x je znázorněn rozdíl mezi jednotlivými prvky. Na ose y je znázorněna procentuální úspěšnost.

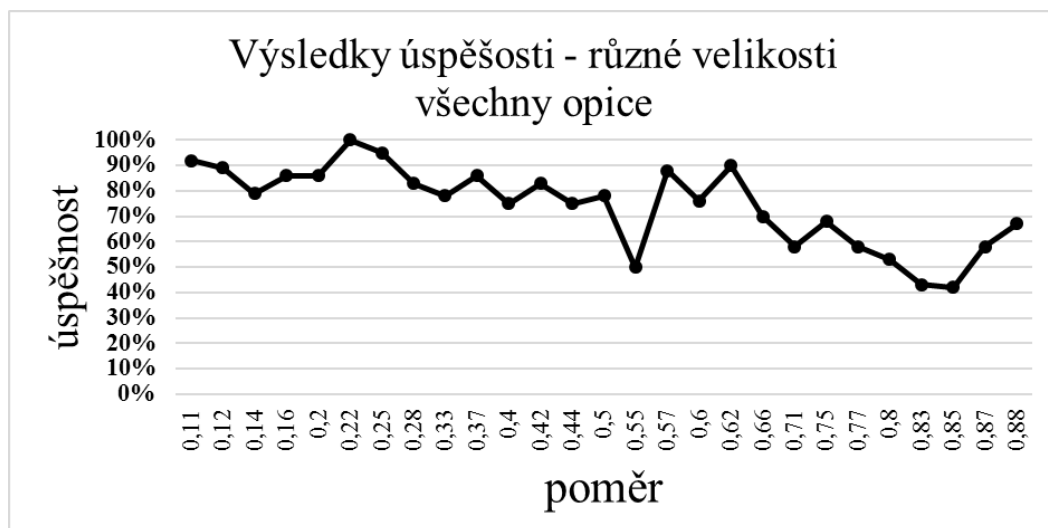


Graf. č. 23. Úspěšnost všech subjektů ve 5. fázi prvního experimentu – různá velikost. Na ose x je znázorněn rozdíl mezi dvěma hodnotami a na ose y je ukázána procentuální úspěšnost všech subjektů dohromady pro pátou fázi s různou velikostí teček

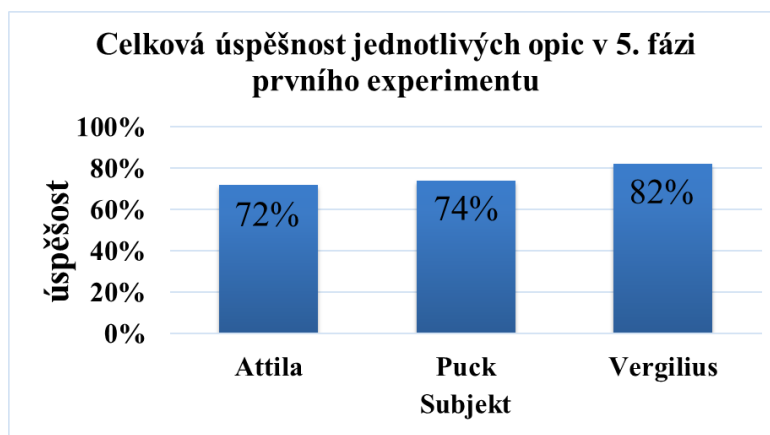


Graf. č. 24. **Porovnání úspěšnosti jednotlivých opic v 5. fázi prvního experimentu.** Na ose x je znázorněn rozdíl mezi dvěma hodnotami a na ose y je ukázána procentuální úspěšnost všech subjektů dohromady pro pátou fázi s různou velikostí stimulů.

Attila měl v této fázi nejvyšší úspěšnost u rozdílu 7 (89 %) a naopak nejnižší úspěšnost měl u rozdílu 2 (62, 20%). Vergilius dosahoval lepších výsledků než Attila s Puckem (graf č. 22 a č. 24), kdy nejnižší úspěšnosti dosahoval u rozdílu 1 (59,10 %) a nejvyšší naopak u rozdílu 8 (100 %), jak lze předpokládat dle Weberova zákona.



Graf. č. 25. **Výsledky úspěšnosti všech opic v jednotlivých poměrech.** Na ose x je znázorněn poměr mezi dvěma hodnotami a na ose y je ukázána procentuální úspěšnost všech subjektů dohromady pro pátou fázi s různou velikostí teček.

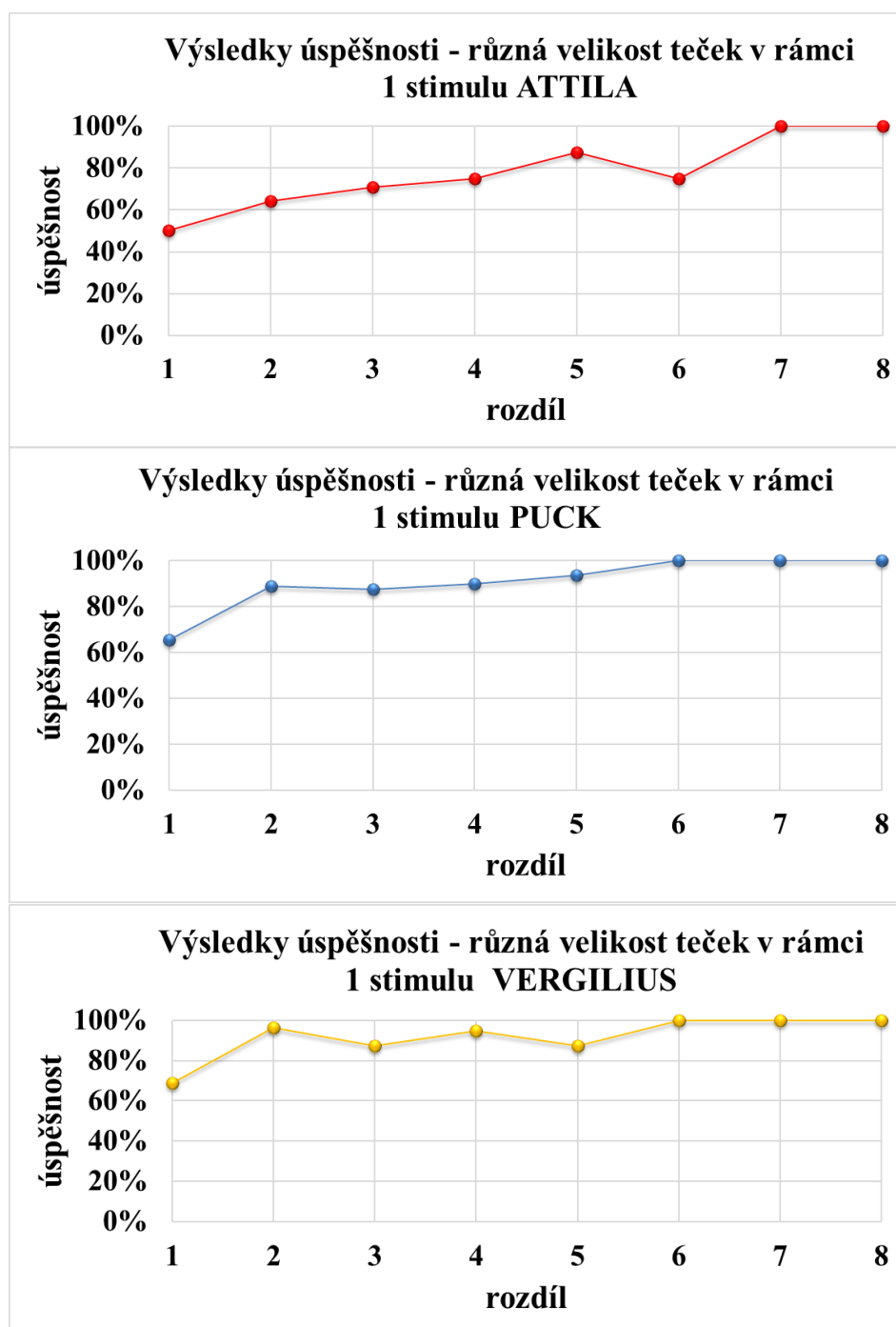


Graf. č. 26. **Celková úspěšnost jednotlivých subjektů v rámci 5. fáze prvního experimentu.** Na ose y je znázorněna procentuální úspěšnost a na ose x daný subjekt.

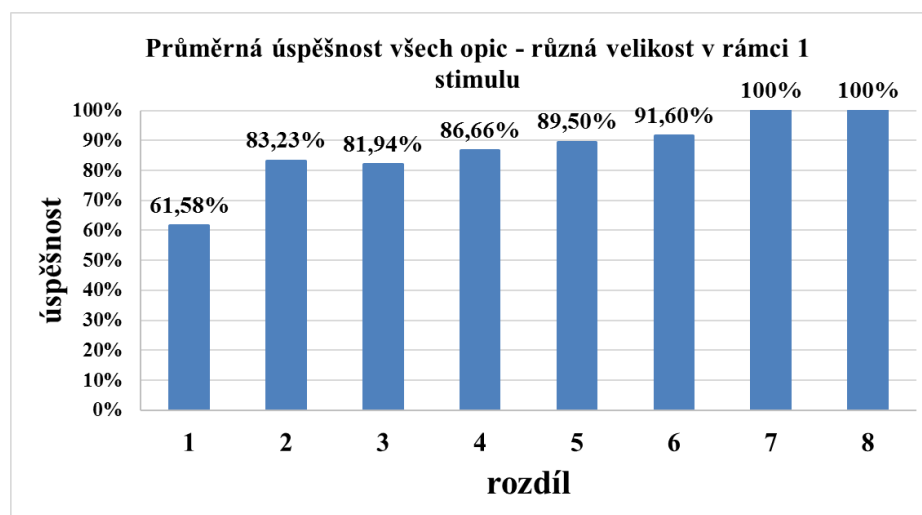
Tyto výsledky (graf č. 25) ukazují úspěšnost v jednotlivých poměrech u všech subjektů dohromady. K velkému poklesu úspěšnosti došlo u poměru 0,55 (5:9), kde byla úspěšnost na hranici náhodné volby (50 %). Vergilius (graf č. 26) byl v této fázi nejúspěšnější, zatímco Attila s Puckem se celkovou úspěšností od sebe lišili pouze ve 2 procentech.

3. 4. 6 Fáze 6. Různé velikosti teček v rámci jednoho stimulu

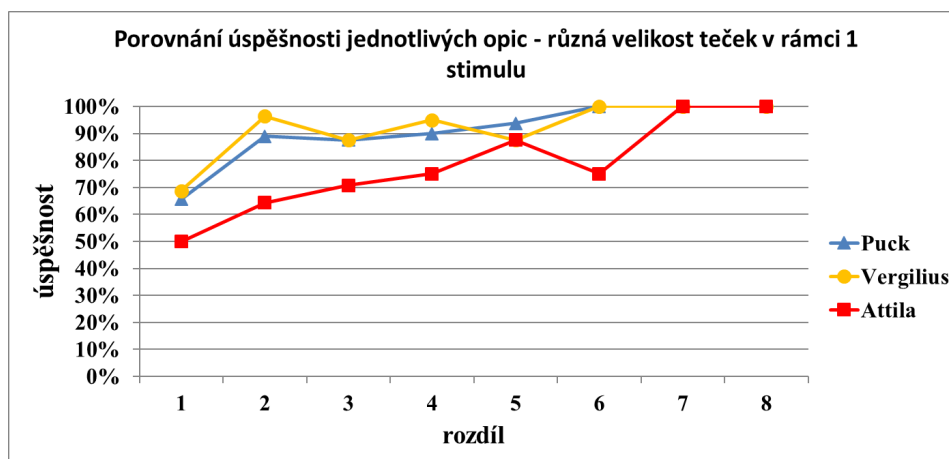
V šesté fázi se různé velikosti teček objevovaly i v rámci jednoho stimulu. Jeden stimul tedy mohl zahrnovat 3 různé velikosti teček – malé, střední, velké. Celkem jsem opice testovala v této fázi 144krát a celý experiment zahrnoval 7 sérií.



Graf. č. 27. Úspěšnost jednotlivých subjektů v 6. fázi prvního experimentu – různé velikosti teček v rámci jednoho. Na ose x je znázorněn rozdíl mezi jednotlivými prvky. Na ose y je znázorněna procentuální úspěšnost.

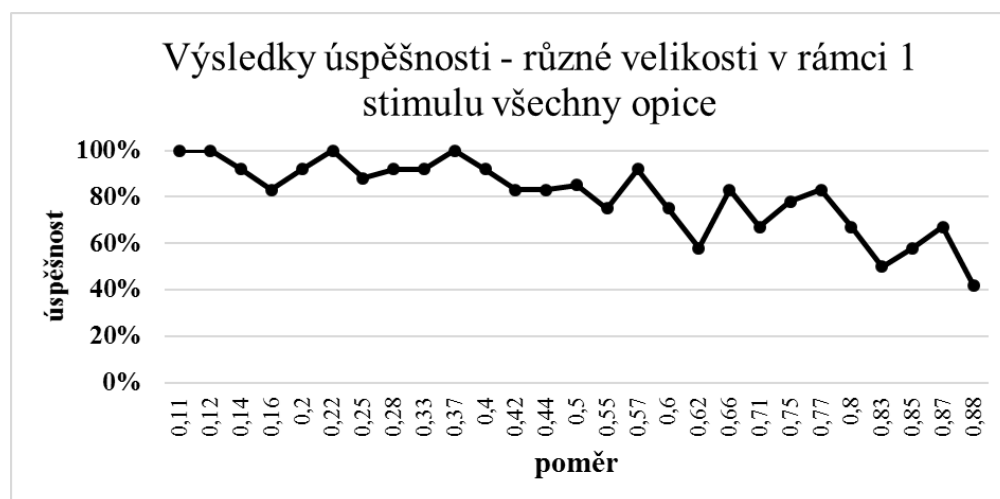


Graf. č. 28. Úspěšnost všech subjektů ve 6. fázi prvního experimentu – různá velikost v rámci jednoho stimulu. Na ose x je znázorněn rozdíl mezi dvěma hodnotami a na ose y je ukázána procentuální úspěšnost všech subjektů dohromady pro šestou fázi s různou velikostí teček v rámci jednoho stimulu.

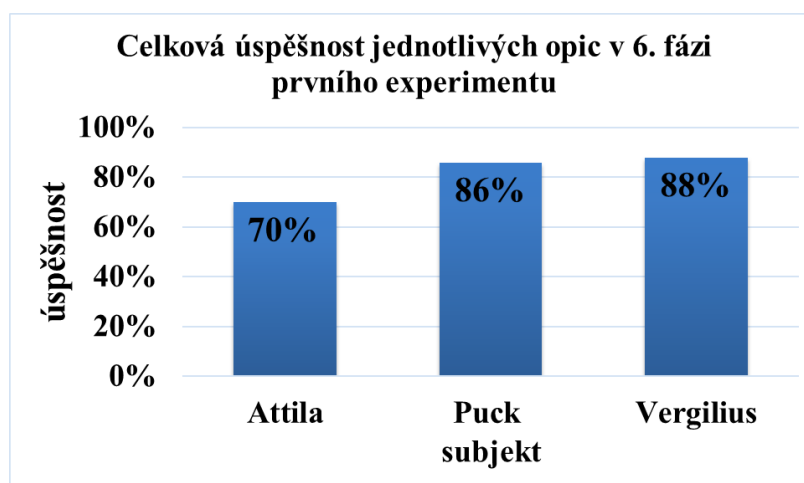


Graf. č. 29. Porovnání úspěšnosti jednotlivých opic v 6. fázi prvního experimentu. Na ose x je znázorněn rozdíl mezi dvěma hodnotami a na ose y je ukázána procentuální úspěšnost všech subjektů dohromady pro šestou fázi s různou velikostí stimulů v rámci jednoho stimulu.

Výsledky této fáze ukazují, že Attila (graf č. 27 a č. 29) měl při rozdílu 1 nejhorší úspěšnost (50 %) a naopak nejlepší u rozdílu 8 (100 %). Puckovy výsledky (graf č. 27 a č. 29) se řídily Weberovým zákonem, kde u rozdílu 1 měl 66 % úspěšnost a u rozdílu 8 dosahoval již 100 % úspěšnosti. Vergilius měl také nejhorší úspěšnost v rozdílu 1 (68 %) a od druhého dosahoval již více jak 85 % úspěšnosti. Vergilius s Puckem (graf č. 29) se nemýlili v žádné z voleb s rozdílem 6. 7. a 8. Attila měl 100 % úspěšnost u rozdílu 7 a 8.



Graf. č. 30. **Výsledky úspěšnosti všech opic v jednotlivých poměrech.** Na ose x je znázorněn poměr mezi dvěma hodnotami a na ose y je ukázána procentuální úspěšnost všech subjektů dohromady pro šestou fázi s různou velikostí teček.

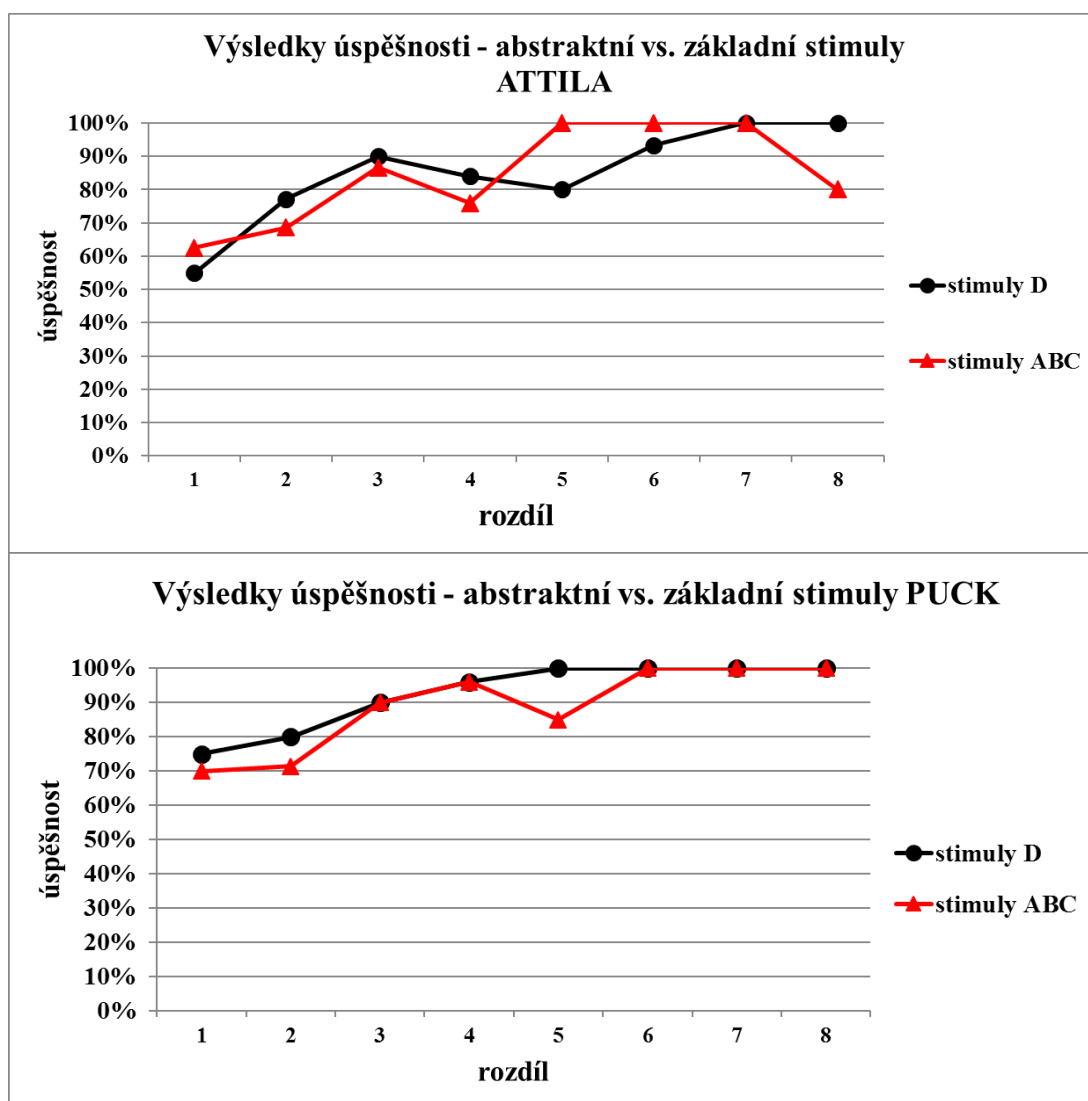


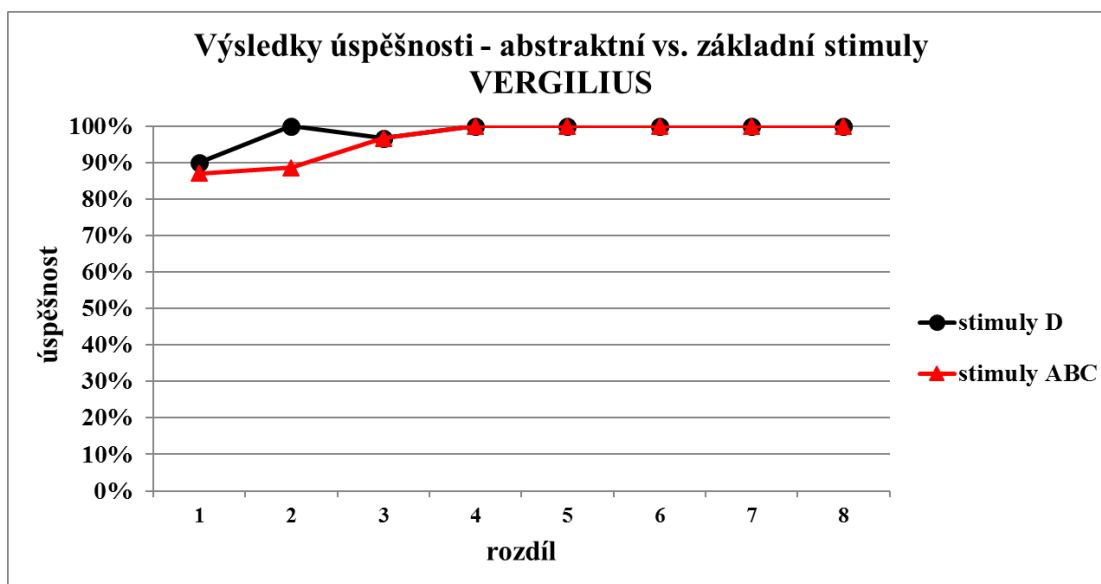
Graf. č. 31. **Celková úspěšnost jednotlivých subjektů v rámci 6. fáze prvního experimentu.** Na ose y je znázorněna procentuální úspěšnost a na ose x daný subjekt.

V této fázi (graf č. 31) byl opět svojí úspěšností nejhorší Attila, který měl v 6. fázi celkovou úspěšnost 70 %. Puck měl 86 % a Vergilius 88 % celkovou úspěšnost v předposlední fázi.

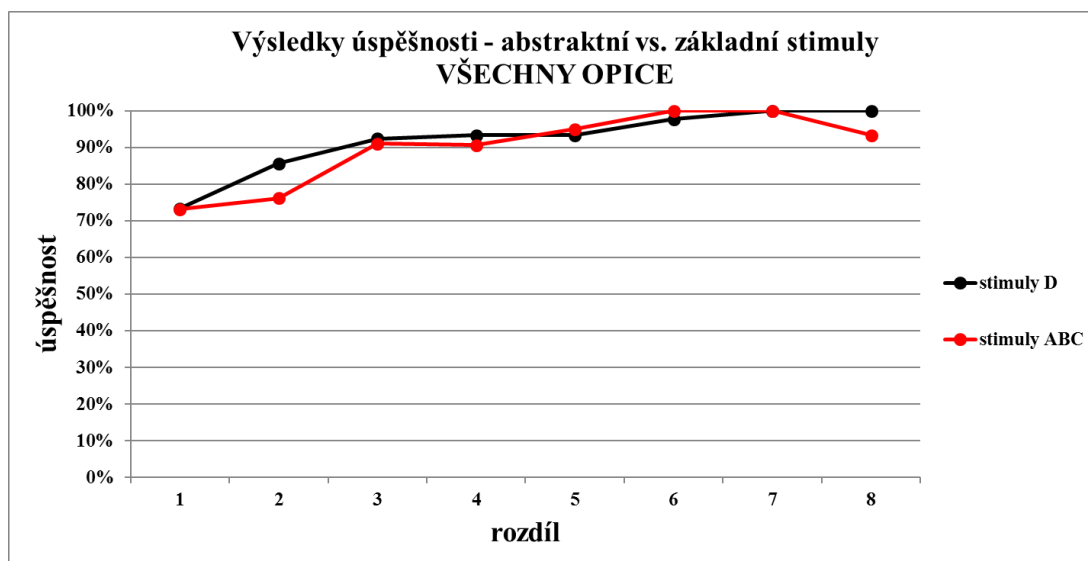
3. 4. 7 Fáze 7. Komplexní stimuly

V poslední fázi byly veškeré předchozí změny (tvar, barva, inverze, velikost) zahrnuty v rámci jednoho stimulu. Vznikly tak komplexní stimuly, které mohly obsahovat různé tvary (čtverce i trojúhelníky), různé barvy (modrou i červenou), inverzi barev objektů s podkladem a různé velikosti objektů na stimulu. Tyto stimuly jsem měla ve třech sadách (sada A, B, C). Celou fázi jsem prokládala stimuly ze základní sady, tedy stimuly, kde byly vyobrazené černé tečky na bílém pozadí (sada D), ve stejných poměrech jako byly zobrazovány stimuly komplexní, což sloužilo jako kontrola. V každé sérii jsem tedy primátům předložila 10 stimulů s černými tečkami a 10 stimulů s abstraktními objekty vždy ve stejných poměrech. Dohromady bylo v této fázi 15 sérií a celkem 360 opakování (180 zobrazení sad A, B, C a 180 zobrazení sady D) pro každého primáta.

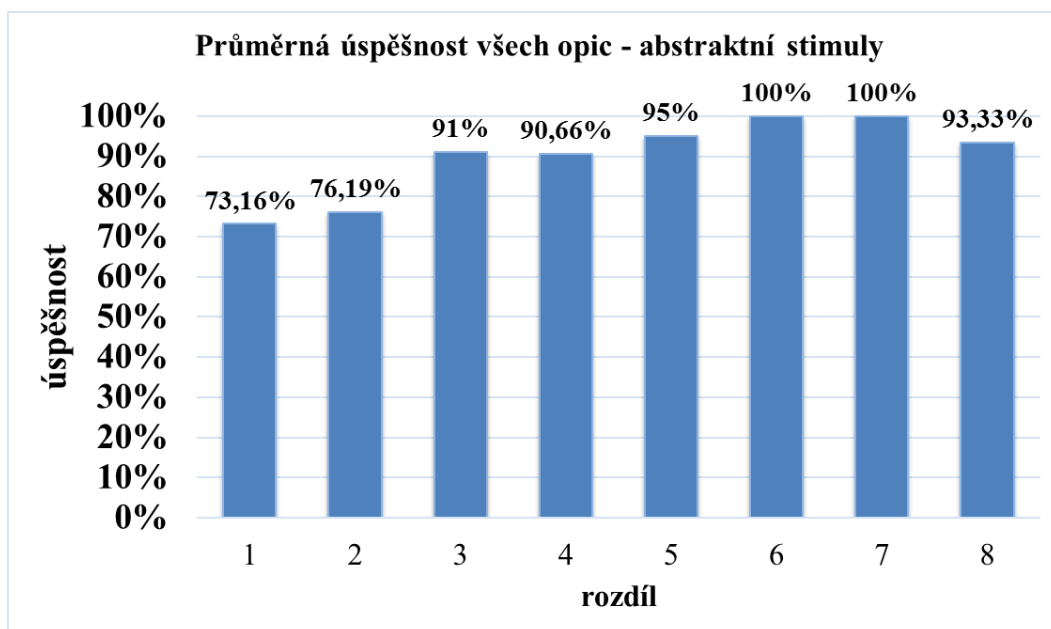




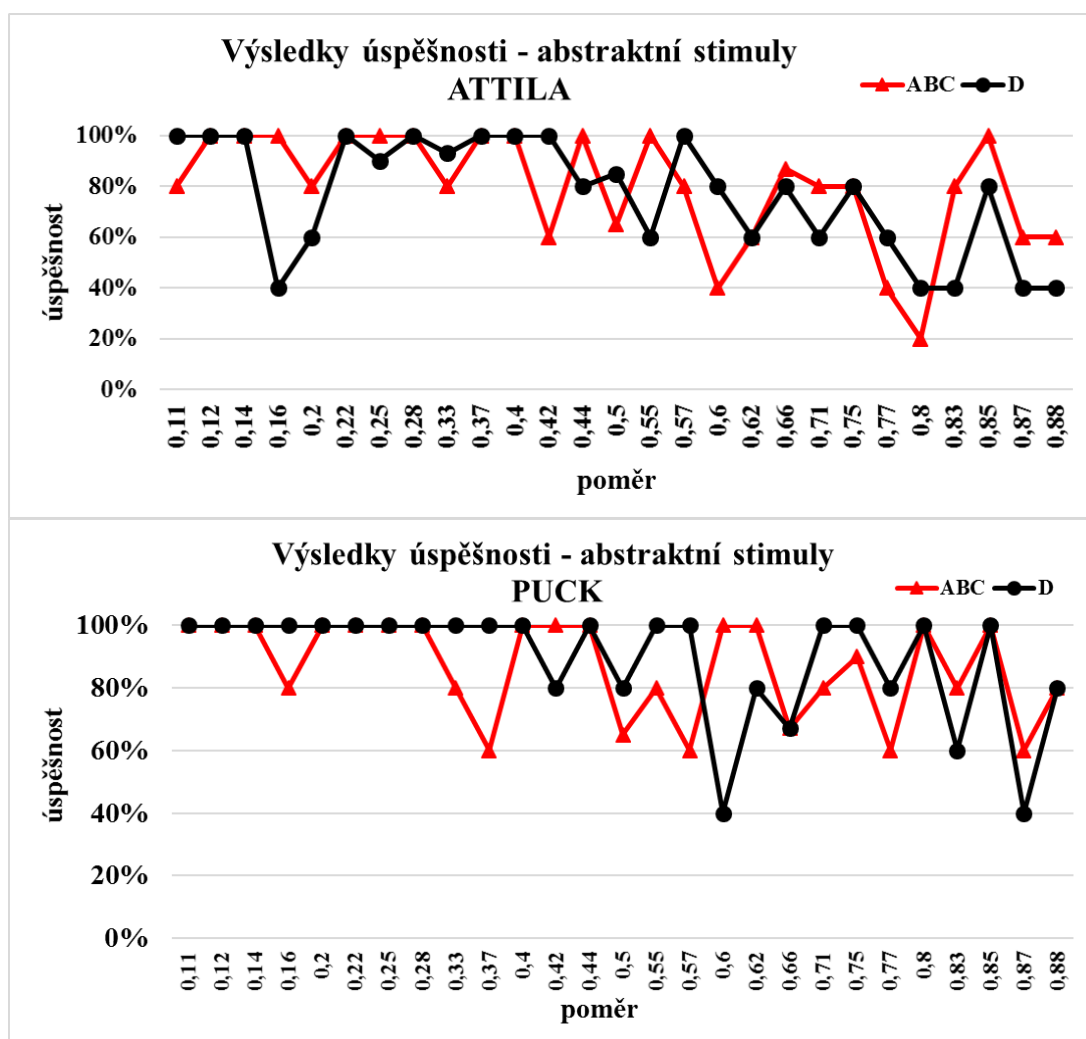
Graf. č. 31. Úspěšnost jednotlivých subjektů v 7. fázi prvního experimentu – abstraktní vs. základní stimuly. Na ose x je znázorněn rozdíl mezi jednotlivými prvky. Na ose y je znázorněna procentuální úspěšnost. Stimuly D představují stimuly ze základní sady, tedy černých teček na bílém pozadí. Stimuly ABC představují stimuly abstraktní.

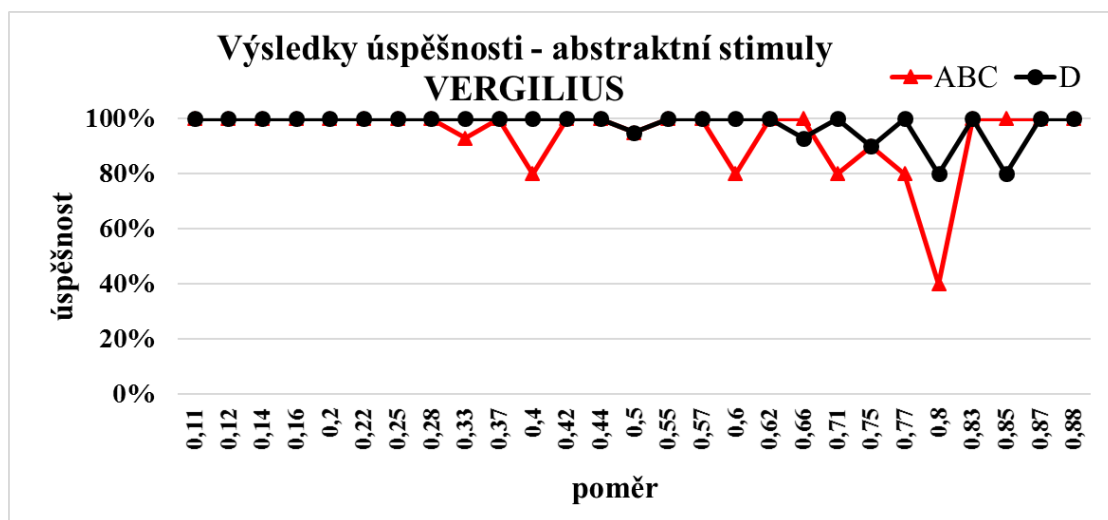


Graf. č. 32. Úspěšnost všech subjektů v 7. fázi prvního experimentu – abstraktní vs. základní stimuly. Na ose x je znázorněn rozdíl mezi jednotlivými prvky. Na ose y je znázorněna procentuální úspěšnost. Stimuly D představují stimuly ze základní sady, tedy černých teček na bílém pozadí. Stimuly ABC představují stimuly abstraktní.



Graf. č. 33. Úspěšnost všech subjektů ve 7. fázi prvního experimentu – abstraktní stimuly. Na ose x je znázorněn rozdíl mezi dvěma hodnotami a na ose y je ukázána procentuální úspěšnost všech subjektů dohromady pro sedmou fázi.





Graf. č. 34. **Výsledky úspěšnosti jednotlivých v poměrech.** Na ose x je znázorněn poměr mezi dvěma hodnotami a na ose y je ukázána procentuální úspěšnost jednotlivých subjektů pro sedmou fázi. Je zde porovnání stimulů základních (sada D) v porovnání se stimuly abstraktními (sada ABC).



Graf. č. 35. **Celková úspěšnost jednotlivých subjektů v rámci 7. fáze prvního experimentu.** Na ose y je znázorněna procentuální úspěšnost a na ose x daný subjekt.

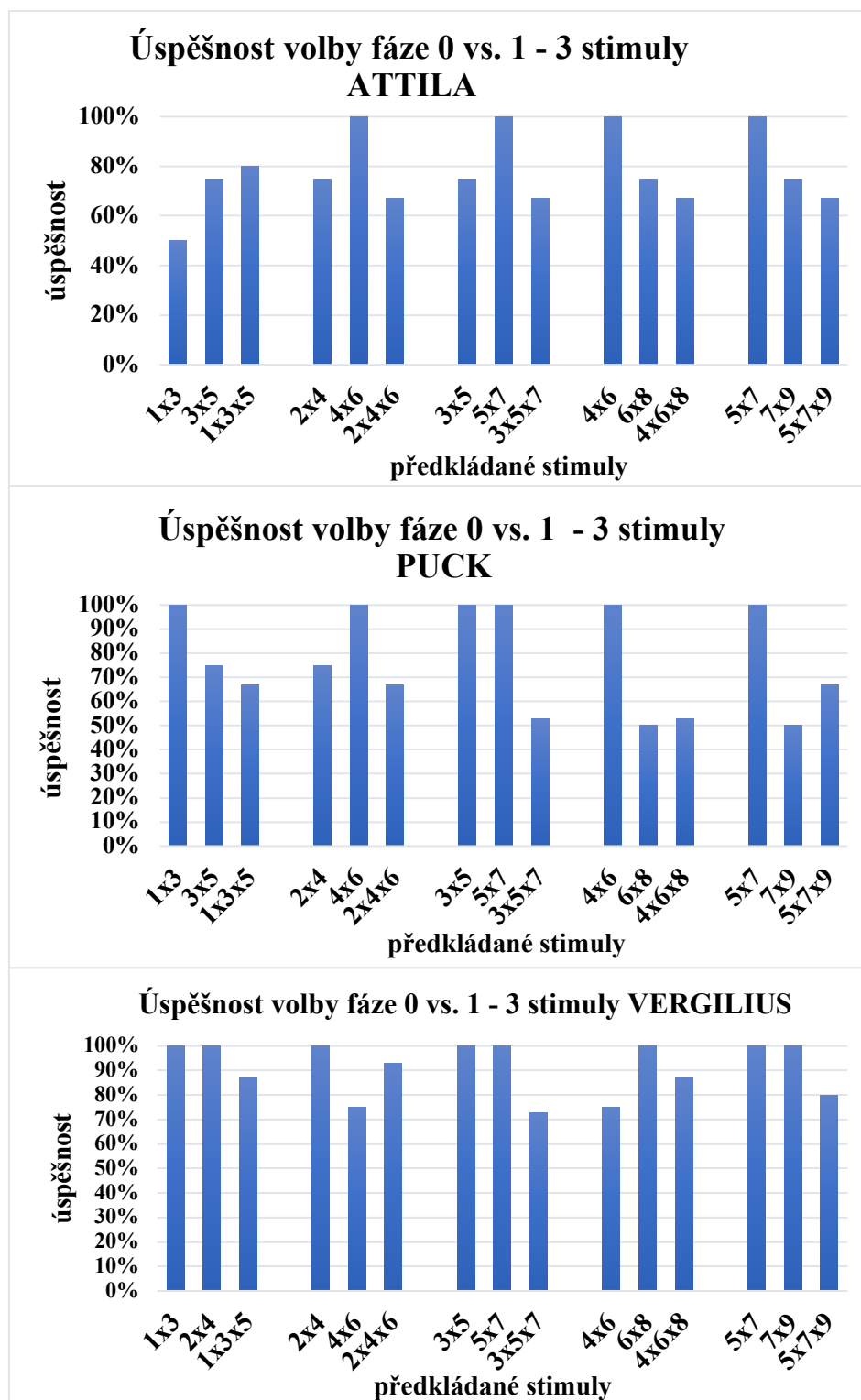
3. 5. 2. Experimentální část – relativní početnost se třemi stimuly

Druhá experimentální část obsahovala prezentaci tří stimulů. Stimuly odpovídaly jednoduchým stimulům z první fáze Experimentu 1 - představovaly je černé tečky na bílém pozadí a v průběhu tohoto experimentu se stimuly nijak neměnily.

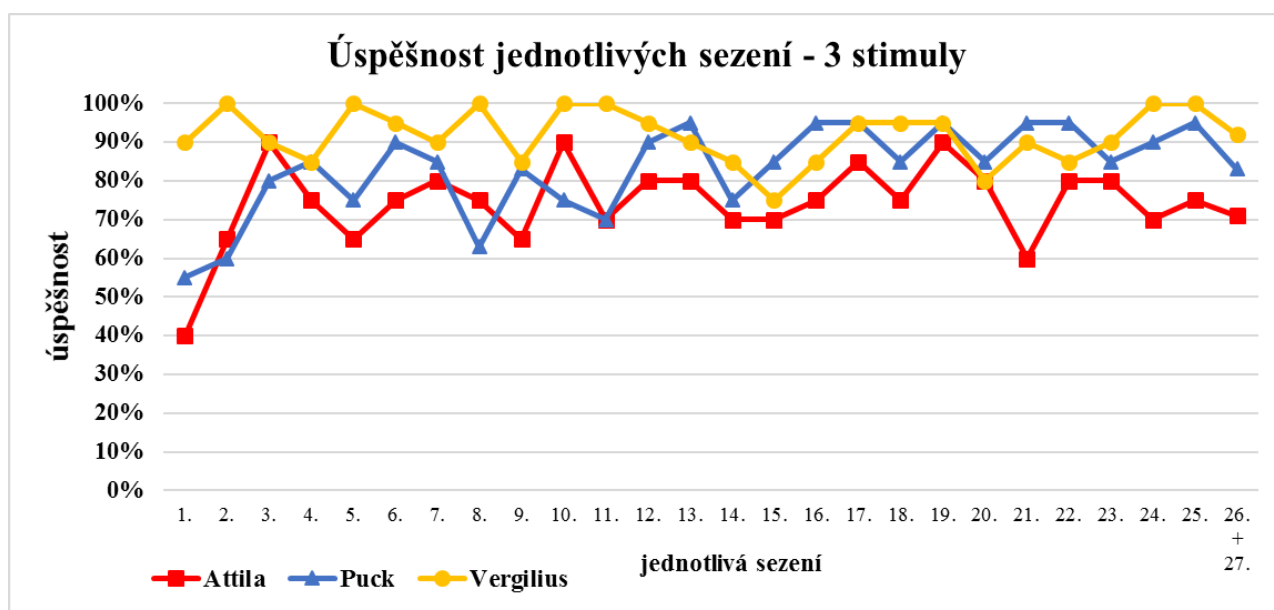
Testování subjektů na rozlišení početnosti u tří stimulů předcházely ještě dvě předchozí fáze. Před samotnou prezentací všech možných kombinací tří stimulů jsme opicím předložili sady stimulů v pseudonáhodném výběru (Fáze 1), kdy se dvě sousedící čísla lišila vždy o 2. Chtěli jsme předejít situaci, kdy v případě horších výsledků bychom nebyli schopni usoudit, zda je to způsobené velkými poměry mezi jednotlivými čísly, tedy příliš těžkou verzí testu, nebo zda je to důsledek nepochopení úlohy. Rozhodli jsme se tedy první prezentaci tří stimulů zjednodušit. Vznikly tyto trojice: 1:3:5, 2:4:6, 3:5:7, 4:6:8 a 5:7:9. Všechna čísla ve trojici byla předkládána v různém rozmístění a pořadí.

Této fázi předcházela ještě jedna série testování (Fáze 0), kde jsme primátům předkládali dvojici stimulů 1:3, 3:5, 2:4, 4:6, 6:8, 5:7 a 7:9 kde každé tyto dvě dvojice sloužily pro kontrolu trojice použité ve Fázi 1. Fáze 0 měla 28 opakování a každá z dvojic se předkládala subjektům celkem 4krát. Fáze 1 měla dohromady 75 opakování pro každého primáta, kde byla každá trojice prezentována 15krát. Po těchto dvou fázích byly opice testované na výběr množství mezi třemi stimuly, kde bylo dohromady 532 opakování v celkem 27 sériích.

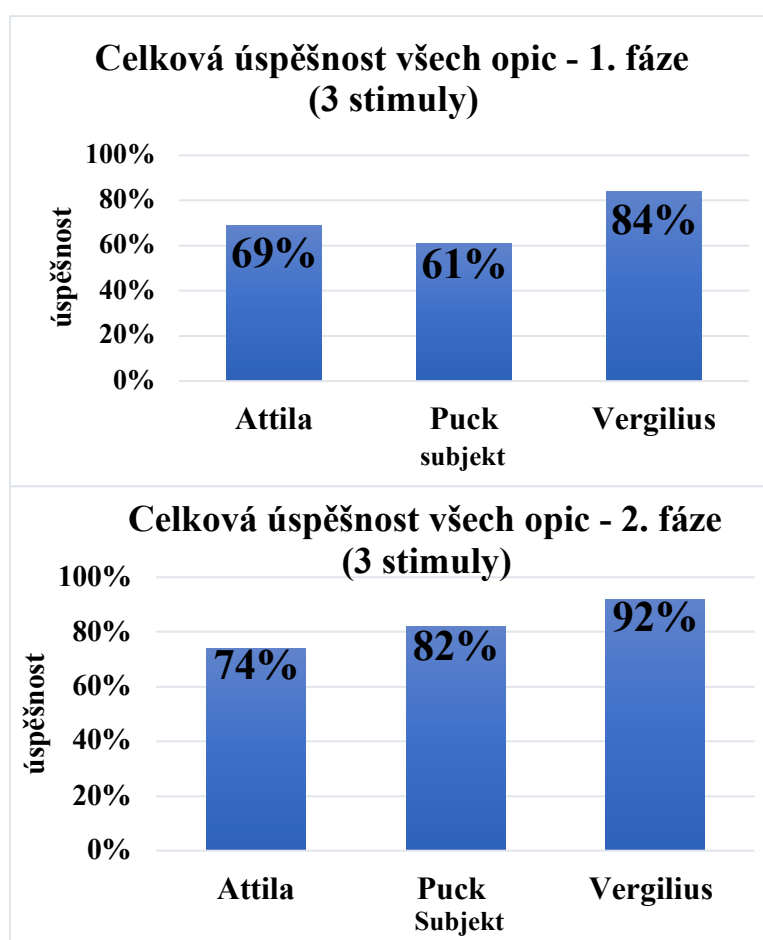
Ve výběru mezi třemi stimuly klesá hranice náhodné volby, takže v této fázi primát volí zcela náhodně při úspěšnosti 33 %.



Graf č. 36. Úspěšnost jednotlivých subjektů v prefázi druhé experimentální části. Na ose y je procentuální úspěšnosti a na ose x předkládané stimuly.



Graf č. 37. Úspěšnost jednotlivých sezení všech subjektů se 3 stimuly. Na ose y je procentuální úspěšnost a na ose x jednotlivá sezení.



Graf č. 38. Celková úspěšnost všech tří subjektů v 1. a 2. fázi druhé experimentální části se třemi stimuly. Na y je procentuální úspěšnost a na ose x daný subjekt.

Náhodná volba pro výběr mezi třemi stimuly je 33 %, což žádný ze subjektů nedosahoval (graf č. 38). Za celé testování (graf č. 37) měl Vergilius pouze jednou 75 % úspěšnost v 15. sezení, jinak měl více jak 85 % celkové úspěšnosti v každé sérii. Attila stejně jako Puck měli nejnižší úspěšnost v prvních dvou sezeních, kde dosahovali 40 % a 65 % úspěšnosti u Attily a 55 % a 60 % úspěšnosti u Pucka.

Attila dosahoval v úplně první prezentaci tří stimulů (Fáze 1) 63 % u všech předkládaných trojic kromě trojice 1x3x5, kde dosáhl 80 %. V 1. fázi měl stejné výsledky u všech předkládaných trojic stimulů, tedy 10 správných a 5 špatných odpovědí (67 %), kromě první trojice 1x3x3, kde odpověděl 12krát správně (80 %). U tohoto subjektu to lze považovat v rámci celého testování za zcela adekvátní výsledek.

Puck měl ve Fázi 1 nejhorší výsledek, kdy nepřesáhl 67 % úspěšnost a celková úspěšnost dosahovala 61 %. Opice však ani u tohoto nejnižšího výsledku nevybírala náhodně $p = 2.691e-07$ (chí kvadrát χ^2 test). V grafu č. 27 lze vidět jeho rychlou stoupající úspěšnost, která od 3. sezení dosáhne 90 %. Od této série se Puck drží průměrné úspěšnosti 85 % a viditelné poklesy či růsty úspěšnosti závisí od hodnoty předkládaných trojic (je vidět, že křivka Pucka a Attily se nápadně shodují, tedy v jednotlivých sériích se oba subjekty řídily víceméně podobně). Lze tedy usoudit, že v rámci tohoto testování se subjekt postupně učil řešit úlohu.

Vergilius byl opět nejúspěšnější ze všech tří subjektů, jak ve Fázi 1, tak ve Fázi 2 (graf. č. 38). V celé prvotní prezentaci tří stimulů měl 83 % při nejnižší úspěšnosti 73 % u prvků 3x5x7 (tedy 11 správných a 4 nesprávné odpovědi). Teno subjekt si tedy udržoval vysokou úspěšnost po celou dobu testování jak v rámci první experimentální části, tak v rámci druhé experimentální části a je zřejmé, že pochopil koncept této úlohy od samého začátku. Z grafu (graf č. 37) je patrné, že úspěšnost mezi jednotlivými sériemi byla téměř konstantní a u všech jednotlivých sérií dosahoval vysokých hodnot.

4. Diskuze

Výsledky ukazují, že opice, tedy druh makak rhesus (*Macaca mulatta*) mají kompetenci relativní početnosti, což se shoduje s několika pracemi (Wood et. al., 2008; Sulowski a Hauser, 2001; Cantlon a Brannon, 2006; Nieder a Miller, 2004; Beran, 2007).

Ohledně testování relativní početnosti, bylo napsáno mnoho článků. V rámci testování této schopnosti lze uplatnit dvojí metodikou. První metodika zohledňuje subjekty, které nebyly záměrně vytrénované k požadované kompetenci. Využívají se k tomu stimuly, které jsou sami o sobě odměnou, takže předpokladem je, že si opice vybere vždy větší množství. Stimulem tedy bývá preferovaná potrava (Barnard et. al., 2013; Sulowski a Hauser, 2001; Wood et. al.; Call, 2000; Beran et. al., 2016;). Nevýhoda této metodiky spočívá v menší motivaci zvířat vybírat větší množství u velkého počtu předkládaných stimulů. Schmitt a Fischer, 2001 ve své studii uvedli, že makakům se zvedla úspěšnost volby poté, co změnil design pokusu a potravní stimuly vyměnili za nejdle objekty. Také v našich experimentech (Rejlová, 2016) vychází, že jestliže před subjekt předložíme větší množství, než 5 kousků preferované potravy, subjekt ztrácí motivaci vybírat větší množství, jelikož jakákoliv jeho volba bude vždy odměněna. VanMarle et. al., 2006 se snažil tento problém vyřešit ve svém experimentu tak, že prokládal experiment úlohou 1 vs 0 rozinek, aby se primáti naučili vybírat vždy větší množství. U tohoto experimentu však předkládal stimuly pouze do 4 objektů.

Jsou tu však i některé výhody. Subjekt nemusí být na tuto úlohu trénovaný, takže ukazuje své přirozené chování. Pokud zvíře vykazuje schopnost spontánně rozlišovat mezi podněty biologického charakteru v laboratoři, je pravděpodobné, že takovou kognitivní kapacitu využije při řešení podobných situacích ve volné přírodě. Tuto metodiku, kdy subjekt jedná spontánně bez jakéhokoliv předešlého tréninku, lze také využít při testování sumace (Lewis et. al., 2005; Santos et. al., 2005; Beran et. al., 2016; Uller a Hauser, 2001; Flombaum et. al. 2005; Sulowsky a Hauser, 2001). V tomto případě většinou experimentátor pokládá různě početné kousky potravy za stěnu a po odstranění této bariéry zde zůstává buď stejné množství nebo se naopak liší. Experimentátoři následně měří dobu, po kterou se subjekt na stimul dívá. Při nereálných situacích, kdy se změnila početnost potravy, subjekty pozorují irelevantní výsledek mnohem déle.

V druhém případě lze využít stimuly nepotravní, které sami o sobě nejsou odměnou, což jsem ve svém experimentování využila i já. Tato metodika pro mě představuje mnohé

výhody Stejnou odměnu subjekt dostává jak za výběr hodnoty menší, tak za výběr hodnoty větší. Motivace vybírat správné množství proto zůstává stále stejná. Subjekt lze mimo jiné testovat i na menší výběr množství, což je u potravních stimulů pravděpodobně nereálné. Tento fakt jsme zahrnuli do této studie, kde dva primáti Attila s Puckem vybírali větší množství, kdežto Vergilius vybíral vždy množství menší. Naším předpokladem bylo, že tento opačný přístup bude pro opici představovat větší problém. Jelikož byli ti samí primáti testováni na relativní početnost u potravních stimulů (Rejlová, 2016), kde vybírali vždy větší množství, mohla tato změna postihnout úspěšnost u náhlé změny představující reverzního postup při výběru správné hodnoty. Vergilius dokázal vybírat menší hodnoty, a to dokonce s větší úspěšností než oba primáti vybírající množství větší. Vergilius je mladý jedinec, který vykazoval v průběhu celého testování nejlepších výsledků. Tyto výsledky mohly být zapříčiněno věkem opice, jelikož je o 8 let mladší než ostatní dva samice. Jiní autoři se také dobrali pozitivního výsledku ve snaze zjistit, zda výběr menšího množství ovlivňuje celkovou úspěšnost. Harris et. al., 2007 a Washburn a Rumbaugh zjistili, že opice seřazující ascendentně či descendentně nemá žádný vliv na úspěšnosti primátů. Makak také dokáže řešit úlohu tranzitivní inference v opačném descendentním pořadí (Boysen et. al., 1993).

Další výhoda v použití nepotravních stimulů tkví v testování úloh s větší početností objektů na stimulu. V našich experimentech jsme vybrali početnost objektů od 1 do 9, což se shoduje s dalšími pracemi (Beran a Parrish, 2016; Beran et al., 2008; Cantlon a Brannon, 2007; Jordan et. al., 2008). Stimul však může nabývat libovolné hodnoty, díky jeho nepotravního charakteru. Například Beran a Parrish, (2016) zjistili, že opice v jejich testování byly signifikantně lepší v úloze, kde vybíraly mezi hodnotami od 10 do 90 objektů, oproti hodnotám v rozpětí od 1 do 9 objektů.

Nepotravní stimul může také nabývat nekonečně mnoho podob. V naší studii jsme obměňovali charakter stimulu v jednotlivých fázích tak, jak jsme předpokládali jejich obtížnost. Chtěli jsme zjistit, zda se opice opravdu řídí dle četnosti předkládaných setů, a ne dle jednotlivých charakteristik stimulu. V celé první části experimentování subjekty uspěly u libovolných stimulů, úlohu pochopily a dokázaly ji vyřešit bez ohledu na typ prezentovaných sad stimulů, což je ve shodě i se studií Cantlon a Brannon, 2006, kde se také měnila charakteristika stimulů.

Různá konfigurace teček (či jakýkoliv jiných objektů) na stimulu je klíčová, jelikož tak znesnadňujeme subjektu zapamatovat si určitý vzorec objektů na stimulu s jeho

konkrétní početností a s tím spojenou možností dosažení lepších výsledků. Tuto úlohu jsme primátům předkládali hned v první fázi, kde všichni makaci signifikantně uspěli. Tento krok je pro testování relativní početnosti velmi rozšířený a najdeme jej v mnoha pracích pojednávající o této problematice.

Barevnost stimulu by také mohla ovlivnit rozhodování subjektu při výběru určitého počtu. Vnímání barev je pro primáty velice důležitým aspektem a mohla by u nich vzniknout preference pro červenou barvu, jako možný výsledek evoluční adaptace vyhledávat zralé ovoce. V našich experimentech jsme dávali opicím na výběr stimuly v modré a červené barvě a nijak se neprojevovalo, že by barva ovlivňovala úspěšnost primátů, což můžeme vidět i u podobných studií Cantlon a Brannon, 2006; Cantlon a Brannon, 2007 a Jordan a Brannon, 2006, kde experimentátoři předkládali stimuly v barvě zelené, červené, modré, oranžové, fialové nebo černé. 2005. Malyukova, 2006 uvádí, že správná diskriminace není závislá na barevnosti stimulu, při použití červených, žlutých či zelených stimulů. Podle jiné studie (Beran et. al., 2005) se zdá, že asociace početnosti s barvou může zlepšit výkon v úloze bez toho, že by určitá barva byla preferována. Lepší úspěšnost dosahovaly opice při výběru mezi dvěma barevnými nádobami, které obsahovaly různé množství potravy. Jelikož mají primáti trichromatické vidění a barvy vnímají velmi dobře, mohla jim tato skutečnost pomoci se zapamatováním si jednotlivých množství odměn dle jednotlivých barev a tím i správnost výběru většího množství.

Různá velikost v rámci testování relativní početnosti se dá obecně pokládat za problematickou díky tomu, že plocha objektů na stimulu může korelovat s jeho celkovou početností. Subjekt by se tedy nemusel striktně řídit dle početnosti, ale velikostí plochy, která zabírá prostor na stimulu. Všichni primáti však signifikantně uspěli nad hranicí náhody, což vychází i u jiných experimentech (Judge et. al., 2005; Beran, 2008; Tomonaga, 2008; Cantlon a Brannon, 2006; Rejlová, 2016), kde různou mírou manipulují s velikostí stimulů. Toto tvrzení se neshoduje s článkem Douglas a Whitty, 1940, kde primát nedokázal rozlišit stimuly v početnosti 3 a 4 odlišující se svou velikostí.

Stimul vždy nemusí sám o sobě představovat hmotný objekt předkládaný před subjekt, ale může ho nahradit jiná modalita jako je zvuk. Tento nový druh úlohy představili ve své studii Hauser et. al., 2002; Hauser et. al., 2003, kde subjekt vybíral množství na základě početnosti zaznívajících tónů. Pozitivních výsledků se také dobral Jordan et. al., 2008, kteří zjistili, že makaci jsou schopni přiřadit odpovídající počet předebraných tónů

k vizuálnímu stimulu. Opice tedy dokáží reprezentovat určité množství i na základě jiné modalit jako je zvuk. Podle zvuku však nedokázali rozlišit početnost u poměru 4:5 a 8:10 (Hauser et. al., 2003), což se liší od našich výsledků, kde výběr hodnoty v poměru 4:5 zvládli.

Dle mého názoru může celé testování ovlivnit i další charakteristiky subjektu, jako je postavení jedince v hierarchickém žebříčku, věk či pohlaví testovaného zvířete. Našimi testovanými subjekty jsou jedinci druhu makak rhesus *Macaca mulata*, u kterých je vysoká vnitrodruhová agresivita. Samci si u tohoto druhu mezi sebou řeší postavení v hierarchickém žebříčku a naše skupina samců nebyla výjimkou. Výsledky našich experimentů ukazují nestabilní a také nejhorší výsledky u nejvíce dominantního samce Attily. U tohoto jedince se muselo testování mnohokrát ukončit předčasně, jelikož vykazoval známky agresivity projevované jak ostatním primátům, tak i experimentátorům. Jeho výsledky jsou často kolísavé (graf č. 3, č. 19, č. 29., č. 31). Domníváme se, že neúspěšnost některých z voleb může být zapříčiněna spíše menší motivací dominantního samce participovat v testování než nepochopením úlohy, jelikož se statistické analýzy vyplývá, že všechny opice úlohu zvládly. V předchozích experimentech (např. stálost objektu) navíc Attila často dosahoval kognitivně nejlepších výsledků.

Momentální úspěšnost lze také vysvětlit motivací a celkovým vyladěním jedince v daný den testování.

Design úlohy ve volbě tří stimulů byl pro subjekty zcela nový, jelikož v dosavadním testování primáti volili pouze mezi dvěma stimuly. Opice do té doby neměla žádnou možnost setkat se s kvantitativně odlišnou úlohou. Ze statistických analýz vyplývá (viz příloha 8), že opice pochopily koncept úlohy a schopnost relativní početnosti dokázaly transformovat na úlohu, kde opice řeší tři kvantitativní. Znamená to, že generalizovaly úlohu na hledání „nejvyšší“, respektive „nejnižší“ hodnoty z několika možností. V literatuře jsem nedohledala žádný podobný test prověřující opice, či jiné zvíře, ve schopnosti vybírat nejmenší či největší hodnotu mezi třemi stimuly.

Důležitá pro nás byla první prezetace tří stimulů (1. Fáze) (graf č. 36), jelikož zde docházelo ke krickému momentu, kdy subjekt musel své dosavadní znalosti vybírání správné hodnoty mezi dvěma veličinami přetransformovat a využít princip úlohy na úspěšné vybírání hodnoty mezi třemi stimuly.

Nejnižší úspěšnost ve fázi 1. měl Pucka. U trojice čísel 4x6x8, kdy podal 8 správných a 7 špatných odpovědí měl pouze 53 %. U trojice 3x6x8 a 5x7x9 dosahoval 67 % (tedy 10 správných a 5 špatných odpovědí). Výsledky však ukazují, že u těchto trojic dosáhl nepatrně vyšších výsledků s porovnáním testovaných dvojic z Fáze 0, tedy 6x8 a 7x9, které jsou pro subjekty vobecně víc problematické, kvůli jeho vysokému poměru (viz Příloha 7). Lze tedy usoudit, že úlohu pochopil, jelikož ze statistických testů vychází, že nevybíral náhodně, avšak s menšími problémy spojené zřejmě s principem nové úlohy.

5. Závěr

Tato práce pojednává o numerických kompetencích u primátů. V teoretické části jsem shrnula a popsala dosavadní poznatky o těchto kognitivních schopnostech vyskytujících se napříč systémem primátů.

V experimentální části jsem testovala tři dospělé samce makaka rhesuse (*Macaca mulatta*) ve snaze zjistit, zda mají schopnost relativní početnosti, tedy schopnost rozlišovat větší či menší množství prvků. Opice byly testované ve dvou experimentálních částech. V první části jsem předkládala subjektům vždy dva stimuly, které se lišily tvarem, barvou, velikostí i svou konfigurací. Otázkou bylo, zda jsou primáti schopni abstrahovat hodnotu u stimulů s libovolnou vizuální podobou. V druhé části jsme subjektům předkládali stimuly 3. U této úlohy jsme chtěli zjistit, zda jsou primáti schopni vyřešit ji bez jakéhokoliv předchozího tréninku.

Naše výsledky dokládají, že makak rhesus (*Macaca mulatta*) vnímá schopnost relativní početnosti, kde stimul nabývá různého charakteru. Zjistili jsme také, že i když změna stimulu momentálně sníží výkonnost, primáti se úlohu postupem času učí a v jednotlivých fázích svou úspěšnost zvyšuje. Z našich výsledků je také patrné, že makak dokáže bez předchozího tréninku vyřešit nový typ úlohy, kdy rozlišuje mezi třemi stimuly a musí tak generalizovat naučené pravidlo z Experimentu 1 na volbu „nejvyšší“, respektive „nejnižší“ hodnoty.

6. Literární zdroje

- Barnard, A. M., Hughes, K. D., Gerhardt, R. R., DiVincenti Jr, L., Bovee, J. M., & Cantlon, J. F. (2013). Inherently analog quantity representations in olive baboons (*Papio anubis*). *Frontiers in Psychology*, 4, 253.
- Beran, M. J. (2001). Summation and numerosness judgments of sequentially presented sets of items by chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Journal of Comparative Psychology*, 115(2), 181.
- Beran, M. J. (2007). Rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) enumerate large and small sequentially presented sets of items using analog numerical representations. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 33(1), 42.
- Beran, M. J. (2007). Rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) succeed on a computerized test designed to assess conservation of discrete quantity. *Animal Cognition*, 10(1), 37-45.
- Beran, M. J. (2008). Capuchin monkeys (*Cebus apella*) succeed in a test of quantity conservation. *Animal Cognition*, 11(1), 109-106.
- Beran, M. J. (2010). Chimpanzees (*Pan troglodytes*) accurately compare poured liquid quantities. *Animal cognition*, 13(4), 641-649.
- Beran, M. J., & Parrish, A. E. (2016). Capuchin monkeys (*Cebus apella*) treat small and large numbers of items similarly during a relative quantity judgment task. *Psychonomic bulletin & review*, 23(4), 1206-1213.
- Beran, M. J., & Rumbaugh, D. M. (2001). "Constructive" enumeration by chimpanzees (*Pan troglodytes*) on a computerized task. *Animal Cognition*, 4(2), 81-89.
- Beran, M. J., Beran, M. M., Harris, E. H., & Washburn, D. A. (2005). Ordinal judgments and summation of nonvisible sets of food items by two chimpanzees and a rhesus macaque. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 31(3), 351.
- Beran, M. J., Decker, S., Schwartz, A., & Schultz, N. (2011). Monkeys (*Macaca mulatta* and *Cebus apella*) and human adults and children (*Homo sapiens*) compare subsets of moving stimuli based on numerosity. *Frontiers in psychology*, 2, 61.
- Beran, M. J., Harris, E. H., Evans, T. A., Klein, E. D., Chan, B., Flemming, T. M., & Washburn, D. A. (2008). Ordinal judgments of symbolic stimuli by capuchin monkeys (*Cebus apella*) and rhesus monkeys (*Macaca mulatta*): The effects of differential and nondifferential reward. *Journal of Comparative Psychology*, 122(1), 52.
- Beran, M. J., Smith, J. D., Redford, J. S., & Washburn, D. A. (2006). Rhesus macaques (*Macaca mulatta*) monitor uncertainty during numerosity judgments. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 32(2), 111.
- Boysen, S. T., & Berntson, G. G. (1989). Numerical competence in a chimpanzee (*Pan troglodytes*). *Journal of Comparative Psychology*, 103(1), 23.
- Boysen, S. T., Berntson, G. G., Shreyer, T. A., & Quigley, K. S. (1993). Processing of ordinality and transitivity by chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Journal of Comparative Psychology*, 107(2), 208.
- Brannon, E. M., Cantlon, J. F., Herbert, S. Terrace. (2006). The Role of Reference Points in Ordinal Numerical Comparisons by Rhesus Macaques (*Macaca mulatta*). *Journal of Experimental Psychology: Animal behaviour Processes*. 32(2), 120-134.
- Buckingham, J., Wong, B., & Rosenthal, G. (2007). Shoaling decisions in female swordtails: how do fish gauge group size?. *Behaviour*, 144(11), 1333-1346.

- Call, J. (2000). Estimating and operating on discrete quantities in orangutans (*Pongo pygmaeus*). *Journal of Comparative Psychology*, 114(2), 136.
- Call, J., & Rochat, P. (1996). Liquid conservation in orangutans (*Pongo pygmaeus*) and humans (*Homo sapiens*): Individual differences and perceptual strategies. *Journal of Comparative Psychology*, 110(3), 219.
- Cantlon, J. F., & Brannon, E. M. (2006). The effect of heterogeneity on numerical ordering in rhesus monkeys. *Infancy*, 9(2), 173-189.
- Cantlon, J. F., & Brannon, E. M. (2007). Basic math in monkeys and college students. *PLoS biology*, 5(12), e328.
- Davis, H., & Pérusse, R. (1988). Numerical competence in animals: Definitional issues, current evidence, and a new research agenda. *Behavioral and Brain Sciences*, 11(04), 561-579.
- Dehaene, S. Varieties of numerical abilities. (1992). *Cognition*. 44, 1-44
- Douglas, J. W. B., & Whitty, C. W. M. (1941). An investigation of number appreciation in some sub-human primates. *Journal of Comparative Psychology*, 31(1), 129.
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in cognitive sciences*, 8(7), 307-314.
- Flombaum, J. I., Junge, J. A., & Hauser, M. D. (2005). Rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) spontaneously compute addition operations over large numbers. *Cognition*, 97(3), 315-325.
- Frank, Michael c., Daniel I. Everett, E. Fedorenko, & Gibson E. (2008). Number as a cognitive technology: Evidence from Pirahã language and cognition. *Cognition*. 108(3), 819-824
- Gallistel, C. R., & Gelman, R. (1992). Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition*, 44(1), 43-74.
- Gazes, R. P., Chee, N. W., & Hampton, R. R. (2012). Cognitive mechanisms for transitive inference performance in rhesus monkeys: Measuring the influence of associative strength and inferred order. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 38(4), 331.
- Gorden, P. 2004. Numerical Cognition without Words: Evidence from Amazonia. *Science*. 2004, 306(5695), 496-499.
- Harris, E. H., Washburn, D. A., Beran, M. J., & Sevcik, R. A. (2007). Rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) select Arabic numerals or visual quantities corresponding to a number of sequentially completed maze trials. *Animal Learning & Behavior*, 35(1), 53-59.
- Hauser D. M., Tsao F., Garcia P., & Spelke S. E. (2003). Evolutionary foundation of number: spontaneous representation of numerical magnitudes by cotton-top tamarines. *The royal society*. 270, 1441-1446
- Hauser, M. D., & Carey, S. (2003). Spontaneous representations of small numbers of objects by rhesusmacaques: examinations of content and format. *Cognitive Psychology*. 47, 367-401
- Hauser, M. D., Dehaene, S., Dehaene-Lambertz, G., & Patalano, A. L. (2002). Spontaneous number discrimination of multi-format auditory stimuli in cotton-top tamarins (*Saguinus oedipus*). *Cognition*, 86(2), B23-B32.
- Hauser, M. D., MacNeilage, P., & Ware, M. (1996). Numerical representations in primates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(4), 1514-1517.
- Hicks, L. H. (1956). An analysis of number-concept formation in the Rhesus monkey. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 49(3), 212.

- Choo, H., & Franconeri, S. L. (2014). Enumeration of small collections violates Weber's law. *Psychonomic bulletin and review*, 8, 698-707.
- Jones, M. S., & Brannon M. E. (2012). Prosimian primates show ratio dependence in spontaneous quantity discriminations. *Frontiers in Psychology*.
- Jordan, K. E., & Brannon, E. M. (2006). A common representational system governed by Weber's law: Nonverbal numerical similarity judgments in 6-year-olds and rhesus macaques. *Journal of Experimental Child Psychology*, 95(3), 215-229.
- Jordan, K. E., MacLean, E. L., & Brannon, E. M. (2008). Monkeys match and tally quantities across senses. *Cognition*, 108(3), 617-625.
- Judge, P. G., Evans, T. A., & Vyas, D. K. (2005). Ordinal representation of numeric quantities by brown capuchin monkeys (*Cebus apella*). *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 31(1), 79.
- Kaufman, E. L., Lord, M. W., Reese, T. W., & Volkman, J. (1949). The discrimination of visual number. *American Journal of Psychology*, 62, 498-525.
- Lewis, P. K., Jaffe S., & Brannon M. E. (2005). Analog number representation in mongoose lemurs (*Eulemur mongoz*): evidence from a search task. *Animal cognition*, 8, 247-252.
- Malyukova, I. V., Chernikova, R. A., & Siketin, V. A. (2006). Study of intellectual activity at recognition of numerical multitudes of two-dimensional and three-dimensional stimuli of different color in lower monkeys. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 42(5), 619-630.
- Mandler, G., & Shebo, B. J. (1982). Subitizing: an analysis of its component processes. *Journal of Experimental Psychology: General*, 111(1), 1.
- Matsuzawa, T. (1985). Colour naming and classification in a chimpanzee (*Pan troglodytes*). *Journal of Human Evolution*, 14(3), 283-291.
- Merritt, D., MacLean, E., Crawford, J. C., & Brannon, E. M. (2011). Numerical rule-learning in ring-tailed lemurs (*Lemur catta*). *Frontiers in psychology*, 2, 23.
- Nelson, X. J., & Jackson, R. R. (2012). The role of numerical competence in a specialized predatory strategy of an araneophagic spider. *Animal cognition*, 15(4), 699-710.
- Nieder, A., & Miller, E. K. (2004). Analog numerical representations in rhesus monkeys: evidence for parallel processing. *Journal of cognitive neuroscience*, 16(5), 889-901.
- Olthof A., Iden M. C., & Roberts A. Williams. (1997). Judgments of Ordinality and Summation of Number Symbols by Squirrel Monkeys (*Saimiri sciures*). *Journal of Experimental Psychology*, 23(3), 325-339
- Pekár, S., Brabec, M. (2012). Moderní analýza biologických dat 2, lineární modely s korelacemi v prostředí R. muni PRESS, Masarykova univerzita, Brno.
- Pepperberg, I. M. (1994). Numerical competence in an African gray parrot (*Psittacus erithacus*). *Journal of Comparative Psychology*, 108(1), 36.
- Pica, P., Lemer, C., Izard, V., & Dehaene, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science*, 306(5695), 499-503.
- Rejlová, M. (2016). Numerická kompetence u primátů. Diplomová práce. Katedra zoologie PřF UK, Praha.
- Rumbaugh, D. M., Savage-Rumbaugh, S., & Hegel, M. T. (1987). Summation in the chimpanzee (*Pan troglodytes*). *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 13(2), 107.

- Santos, L. R., Barnes, J. L., & Mahajan, N. (2005). Expectations about numerical events in four lemur species (*Eulemur fulvus*, *Eulemur mongoz*, *Lemur catta* and *Varecia rubra*). *Animal Cognition*, 8(4), 253-262.
- Schmitt, V., & Fischer, J. (2011). Representational format determines numerical competence in monkeys. *Nature communications*, 2, 257
- Sophian, C. (1995). Representation and reasoning in early numerical development: Counting, conservation, and comparisons between sets. *Child Development*, 66(2), 559-577.
- Stancher, G., Rugani, R., Regolin, L., & Vallortigara, G. (2015). Numerical discrimination by frogs (*Bombina orientalis*). *Animal Cognition*, 18(1), 219-229.
- Sulkowski, G. M., & Hauser, M. D. (2001). Can rhesus monkeys spontaneously subtract?. *Cognition*, 79(3), 239-262.
- Tegeder, W. R., & Krause, J. (1995). Density dependence and numerosity in fright stimulated aggregation behaviour of shoaling fish. *Biological Sciences*. 350(1334), 381-390.
- Tomonaga, M. (2008). Relative numerosity discrimination by chimpanzees (*Pan troglodytes*): evidence for approximate numerical representations. *Animal cognition*, 11(1), 43-57.
- Uller, C., Hauser, M., & Carey, S. (2001). Spontaneous representation of number in cotton-top tamarins (*Saguinus oedipus*). *Journal of Comparative Psychology*, 115(3), 248.
- vanMarle, K., Aw, J., McCrink, K., & Santos, L. R. (2006). How capuchin monkeys (*Cebus apella*) quantify objects and substances. *Journal of Comparative Psychology*, 120(4), 416.
- Washburn, D. A., & Rumbaugh, D. M. (1991). Ordinal judgments of numerical symbols by macaques (*Macaca mulatta*). *Psychological Science*, 2(3), 190-193.
- Wood, J. N., Hauser, M. D., Glynn, D. D., & Barner, D. (2008). Free-ranging rhesus monkeys spontaneously individuate and enumerate small numbers of non-solid portions. *Cognition*, 106(1), 207-221.
- Woodruff, G., & Premack, D. (1981). Primitive mathematical concepts in the chimpanzee: proportionality and numerosity. *Nature*, 293(5833), 568.
- Woodruff, G., Premack, D., & Kennel, K. (1978). Conservation of liquid and solid quantity by the chimpanzee. *Science*, 202(4371), 991-994.

7. Přílohy

Příloha 1 - Model 1. Neredukovaný glm model se dvěma a priori vybranými interakcemi...	1
Příloha 2 - Srovnání modelů 1 a 2.....	2
Příloha 3 – Model 3. Neredukovaný glm model se všemi dvojitými interakcemi.....	3
Příloha 4 – Srovnání modelů 3 a 2.....	4
Příloha 5 – Model 4. Geeglm model s předem specifikovanou korelační strukturou typu AR1.....	5
Příloha 6 - Příloha 6 – Model 5. Geeglm model s předem nespecifikovanou korelační strukturou.....	6
Příloha 7 - Chí kvadrát χ^2 2 test pro počet správných a nesprávných odpovědí, pokud je rozdíl hodnot předkládaných stimulů 1 a jejich součet 3, 5, 7, 9 a 11+.....	7

Příloha 1 – Model 1. **Neredukovaný glm model se dvěma a priori vybranými interakcemi.**

```
> mm1=glm(SPRAVNE~subjekt+FAZE*TRIAL+ABS*POMER, family=quasibinomial)
```

```
> anova(mm1, test="Chi")
```

Analysis of Deviance Table

Model: quasibinomial, link: logit

Response: SPRAVNE

Terms added sequentially (first to last)

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
NULL			4775	4848	
subjekt	2	84.1	4773	4764	< 2e-16 ***
FAZE	6	48.7	4767	4715	4.0e-09 ***
TRIAL	1	13.7	4766	4701	0.00016 ***
ABS	7	241.5	4759	4460	< 2e-16 ***
POMER	1	17.1	4758	4443	2.5e-05 ***
FAZE:TRIAL	6	8.7	4752	4434	0.17335
ABS:POMER	6	2.8	4746	4431	0.82708

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Příloha 2 – Srovnání modelů 1 a 2.

```
> anova(mm1, mm2, test="Chi")
```

Analysis of Deviance Table

Model 1: SPRAVNE ~ subjekt + FAZE * TRIAL + ABSROZDIL * POMER

Model 2: SPRAVNE ~ subjekt + FAZE + TRIAL + ABSROZDIL + POMER

	Resid. Df	Resid. Dev	Df	Deviance	Pr(>Chi)
1	4757	4439.2			
2	4764	4448.2	-7	-8.9877	0.2305

Příloha 3 – Model 3. Neredukovaný glm model se všemi dvojítymi interakcemi.

```
> mm3=glm(SPRAVNE~(subjekt+FAZE+TRIAL+ABS+POMER)^2,
family=quasibinomial)
```

```
> anova(mm3, test="Chi")
```

Analysis of Deviance Table

Model: quasibinomial, link: logit

Response: SPRAVNE

Terms added sequentially (first to last)

		Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
NULL				4775	4848	
subjekt	2	84.1		4773	4764	< 2e-16 ***
FAZE	6	48.7		4767	4715	3.8e-09 ***
TRIAL	1	13.7		4766	4701	0.00016 ***
ABS	7	241.5		4759	4460	< 2e-16 ***
POMER	1	17.1		4758	4443	2.5e-05 ***
subjekt:FAZE	12	28.5		4746	4414	0.00329 **
subjekt:TRIAL	2	4.0		4744	4410	0.12300
subjekt:ABS	14	20.3		4730	4390	0.10079
subjekt:POMER	2	1.4		4728	4388	0.47975
FAZE:TRIAL	6	8.4		4722	4380	0.19198
FAZE:ABS	42	75.7		4680	4304	0.00055 ***
FAZE:POMER	6	23.1		4674	4281	0.00053 ***

TRIAL:ABS	7	3.0	4667	4278	0.87568
TRIAL:POMER	1	0.0	4666	4278	0.89796
ABS:POMER	6	2.7	4660	4276	0.83094

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Příloha 4 – Srovnání modelů 3 a 2.

```
> anova(mm3,mm2, test="Chi")
```

Analysis of Deviance Table

Model 1: SPRAVNE ~ (subjekt + FAZE + TRIAL + ABS + POMER)^2

Model 2: SPRAVNE ~ subjekt + FAZE + TRIAL + ABS + POMER

	Resid. Df	Resid. Dev	Df	Deviance	Pr(>Chi)
1	4660	4276			
2	4758	4443	-98	-167	4.2e-06 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Příloha 5 – Model 4. Geeglm model s předem specifikovanou korelační strukturou typu AR1.

```
> mm9=geeglm(SPRAVNE~FAZE+TRIAL+ABS+POMER, id=subjekt, family=binomial,
wave=TRNo, corstr="ar1")
```

```
> summary(mm9)
```

Call:

```
geeglm(formula = SPRAVNE ~ FAZE + TRIAL + ABS + POMER, family =
binomial,
```

```
id = subjekt, waves = TRNo, corstr = "ar1")
```

Coefficients:

	Estimate	Std.err	Wald	Pr(> W)
(Intercept)	1.207554	0.158188	58.27	2.3e-14 ***
FAZEB2	0.051366	0.163118	0.10	0.75284
FAZEC3	0.478593	0.050105	91.24	< 2e-16 ***

FAZED4	0.455042	0.091905	24.51	7.4e-07	***
FAZEE5	-0.028605	0.084388	0.11	0.73463	
FAZEF6	0.503007	0.239582	4.41	0.03577	*
FAZEG7	0.760686	0.297057	6.56	0.01044	*
TRIAL	0.001623	0.000485	11.22	0.00081	***
ABS2	0.053123	0.119632	0.20	0.65700	
ABS3	0.433544	0.031325	191.55	< 2e-16	***
ABS4	0.417345	0.160075	6.80	0.00913	**
ABS5	0.656507	0.118689	30.60	3.2e-08	***
ABS6	1.063669	0.155219	46.96	7.2e-12	***
ABS7	0.993279	0.151227	43.14	5.1e-11	***
ABS8	1.208094	0.181179	44.46	2.6e-11	***
POMER	-1.226753	0.234925	27.27	1.8e-07	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Estimated Scale Parameters:

Estimate Std.err

(Intercept) 0.987 0.313

Correlation: Structure = ar1 Link = identity

Estimated Correlation Parameters:

Estimate Std.err

alpha -0.026 0.0268

Number of clusters: 3 Maximum cluster size: 1592

Příloha 6 – Model 5. **Geeglm model s předem nespecifikovanou korelační strukturou.**

```
> mm10=geeglm(SPRAVNE~FAZE+TRIAL+ABS+POMER, id=subjekt, family=binomial)
```

```
> summary(mm10)
```

Call:

```
geeglm(formula = SPRAVNE ~ FAZE + TRIAL + ABS + POMER, family =
binomial,
```

```
id = subjekt)
```

Coefficients:

	Estimate	Std.err	Wald	Pr(> W)	
(Intercept)	1.204376	0.150615	63.94	1.3e-15	***
FAZEB2	0.050183	0.163473	0.09	0.75886	
FAZEC3	0.475630	0.051220	86.23	< 2e-16	***
FAZED4	0.452139	0.090800	24.80	6.4e-07	***
FAZEE5	-0.030718	0.084286	0.13	0.71552	
FAZEF6	0.499873	0.240175	4.33	0.03741	*
FAZEG7	0.756971	0.298850	6.42	0.01131	*
TRIAL	0.001628	0.000485	11.26	0.00079	***
ABS2	0.049195	0.124594	0.16	0.69296	
ABS3	0.432119	0.037852	130.33	< 2e-16	***
ABS4	0.415390	0.168187	6.10	0.01352	*
ABS5	0.661375	0.127855	26.76	2.3e-07	***
ABS6	1.067125	0.167777	40.45	2.0e-10	***
ABS7	1.004631	0.171595	34.28	4.8e-09	***
ABS8	1.219714	0.194260	39.42	3.4e-10	***
POMER	-1.218508	0.223359	29.76	4.9e-08	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Estimated Scale Parameters:

	Estimate	Std.err
(Intercept)	0.987	0.315

Correlation: Structure = independence
Number of clusters: 3
Maximum cluster size: 1592

Příloha 7 - Chí kvadrát χ^2 test pro počet správných a nesprávných odpovědí, pokud je rozdíl hodnot předkládaných stimulů 1 a jejich součet 3, 5, 7, 9 a 11+.

```
> p=c(0.5, 0.5)
```

Součet 3

```
> x3=c(84,36)
```

```
> chisq.test(x3, p=p)
```

Chi-squared test for given probabilities

data: x3

X-squared = 20, df = 1, p-value = 1e-05

Součet 5

```
> x5=c(106,35)
```

```
> chisq.test(x5, p=p)
```

Chi-squared test for given probabilities

data: x5

X-squared = 40, df = 1, p-value = 2e-09

Součet 7

```
> x7=c(99,42)
```

```
> chisq.test(x7, p=p)
```

Chi-squared test for given probabilities

data: x7

X-squared = 20, df = 1, p-value = 2e-06

Součet 9

```
> x9=c(92,49)
```

```
> chisq.test(x9, p=p)
```

Chi-squared test for given probabilities

data: x9

X-squared = 10, df = 1, p-value = 3e-04

Součet 11 a více

```
> x11=c(312,168)
```

```
> chisq.test(x11, p=p)
```

Chi-squared test for given probabilities

data: x11

X-squared = 40, df = 1, p-value = 5e-11

Příloha 8 – Model 6. **Geeglm model pro volbu ze tří stimulů, korelační struktura typu AR1.**

```
> mmm2=geeglm(spravne~roz+pomer, id=subjekt, family=binomial,  
wave=trial, corstr="ar1")
```

```
> summary(mmm2)
```

Call:

```
geeglm(formula = spravne ~ roz + pomer, family = binomial, id = subjekt,  
waves = trial, corstr = "ar1")
```

Coefficients:

	Estimate	Std.err	Wald	Pr(> W)	
(Intercept)	3.7737	0.4382	74.18	< 2e-16	***
roz2	0.2280	0.0762	8.95	0.00277	**
roz3	0.6544	0.1726	14.37	0.00015	***
roz4	-0.0761	0.1484	0.26	0.60796	
roz5	0.8131	0.5422	2.25	0.13368	
roz6	0.6253	0.0062	10164.39	< 2e-16	***
roz7	-0.1868	0.9494	0.04	0.84398	
pomer	-3.5264	0.5297	44.31	2.8e-11	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Estimated Scale Parameters:

	Estimate	Std.err
(Intercept)	0.964	0.358

Correlation: Structure = ar1 Link = identity

Estimated Correlation Parameters:

	Estimate	Std.err
alpha	0.0447	0.0403

Number of clusters: 3 Maximum cluster size: 532